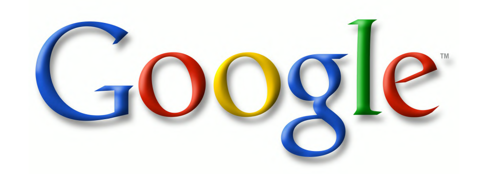

Google

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

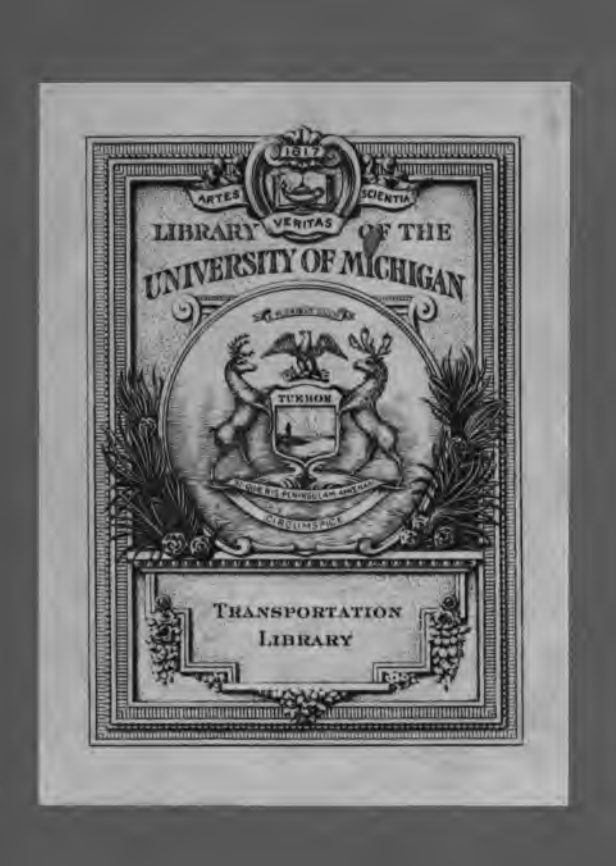
R. THURSTON

HISTOIRE

DE LA

MACHINE A VAPEUR

★



1817
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
TRANSPORTATION
LIBRARY

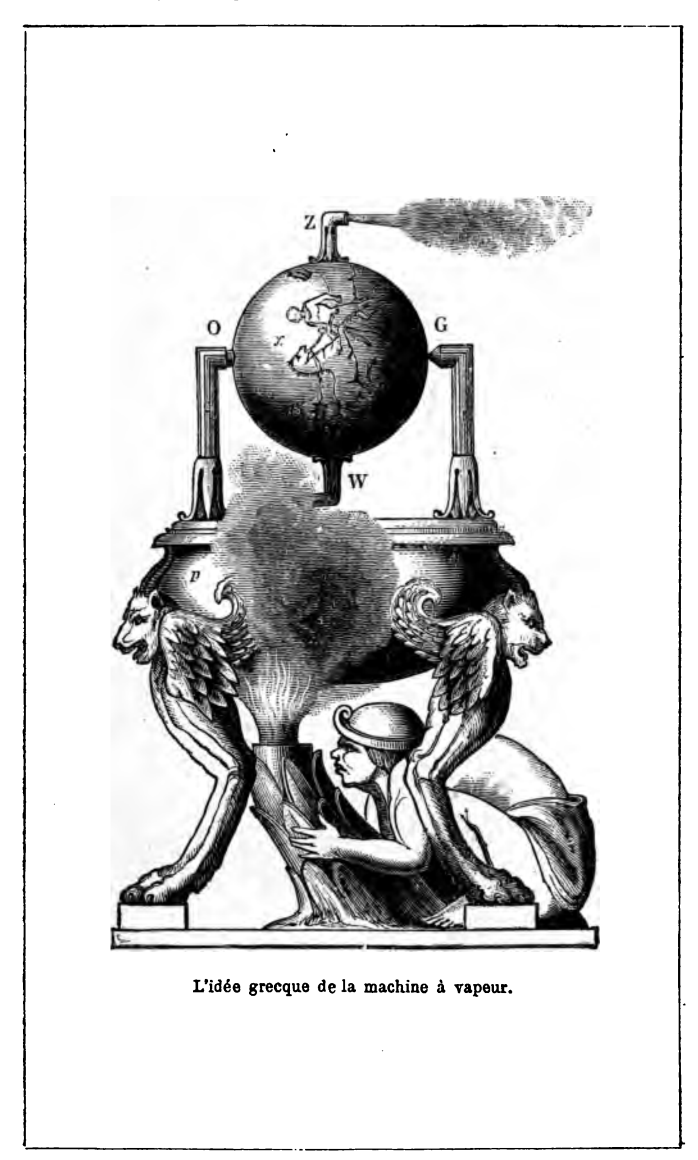
BIBLIOTHÈQUE

SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

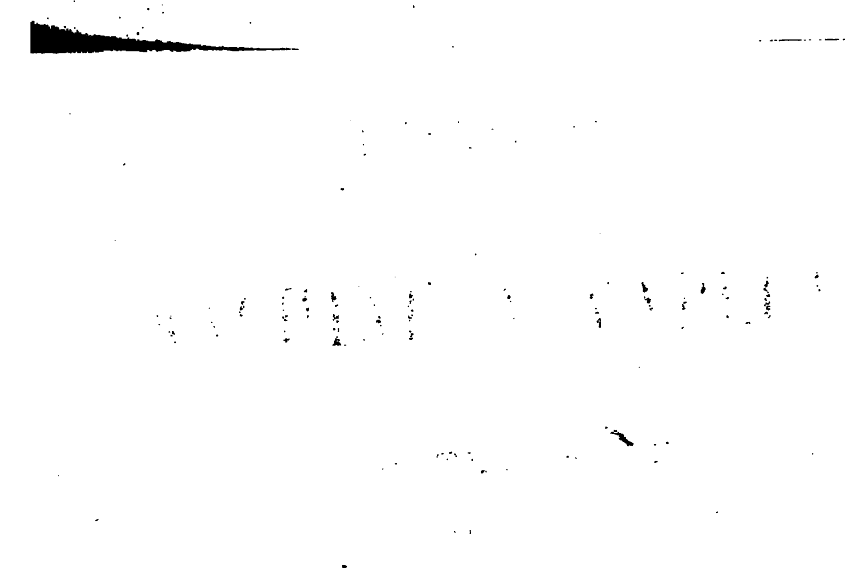
PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. EM. ALGLAVE

XXXII



L'idée grecque de la machine à vapeur.



HISTOIRE

DE LA

MACHINE A VAPEUR

PAR

R.-H. THURSTON

Professeur de mécanique à l'institut polytechnique Stevens
à Hoboken, près New-York.

REVUE, ANNOTÉE ET AUGMENTÉE D'UNE INTRODUCTION

par

J. HIRSCH

Professeur de machines à vapeur à l'École des Ponts et Chaussées
de Paris.

Avec 140 figures dans le texte, et 16 planches tirées à part.

TOME PREMIER

PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET Cie

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

Au coin de la rue Hautefeuille

1880

PRÉFACE DE L'AUTEUR

L'auteur a consulté un grand nombre d'écrivains dans le cours de son travail; il doit beaucoup à plusieurs de ceux qui l'ont précédé. Stuart [1], entre autres, mérite une mention particulière. Son *Histoire* est la plus ancienne qui soit digne de ce nom; et ses *Anecdotes* sont à la fois d'un très grand intérêt et d'une haute valeur historique. Les curieux petits croquis artistiques qui se trouvent en culs-de-lampe à la fin de chaque livre sont empruntés à John Stuart; il en est généralement de même des dessins qui représentent les machines anciennes.

L'excellente traduction de Héron par Greenwood, publiée par Bennett Woodcroft (Londres 1851), peut être consultée par ceux qui voudraient en savoir davantage sur le vieux traité grec, si intéressant.

Quelques emprunts précieux ont été faits à Farey [2], auteur de l'étude la plus complète qui existe sur les machines de Newcomen et de Watt. Le lecteur désireux de mieux connaître la vie de Worcester et d'avoir plus de détails sur son œuvre trouvera dans la très complète biographie de Dircks [3] tout ce qu'il peut souhaiter d'apprendre sur le compte de ce grand mais malheureux inventeur.

L'admirable biographie de Watt, par Smiles [4], est une histoire aussi complète qu'intéressante de l'illustre mécanicien et de ses associés; et Muirhead [5] nous donne une exposition plus détaillée encore de ses inventions.

1. *History of the Steam-Engine*, Londres, 1824. *Anecdotes of the Steam-Engine*, Londres, 1829.

2. *Treatise on the Steam-Engine*, Londres, 1827.

3. *Life, Times and scientific Labours of the second marquis of Worcester*, Londres, 1865.

4. *Lives of Boulton and Watt*, Londres, 1865.

5. *Life of James Watt*, D. Appleton et C°, New-York, 1859. *Mechanical inventions of James Watt*, Londres, 1854.

Sur la vie et les ouvrages de John Elder, qui fut le premier à introduire le type aujourd'hui bien arrêté de la machine à double cylindre, ou *compound,* on peut consulter une petite esquisse biographique du professeur Rankine, parue peu après la mort d'Elder.

Le seul essai publié sur l'histoire de la thermodynamique, qui joue un si grand rôle dans la philosophie de la machine à vapeur, est celui du professeur Tait, monographie très estimable.

Un chapitre du présent volume traite des causes et de l'étendue des pertes de chaleur dans la machine à vapeur, et des méthodes qu'on emploie ou qu'on pourrait employer pour réduire ce gaspillage de force, aujourd'hui énorme. Ce chapitre est, sous certains rapports, entièrement nouveau tant pour le fond que pour la manière dont il est présenté. Il est resté longtemps sans voir le jour ; et s'il a trouvé place ici, c'est uniquement parce que dans l'opinion de l'auteur il complète cette partie du travail.

Parmi d'autres ouvrages qui ont été aussi fort utiles à l'auteur, et ne le seront peut-être pas moins à quelques-uns des lecteurs de ce petit traité, il en est plusieurs qui n'ont pas été cités dans le texte. Voici ceux qui méritent une mention spéciale : *Mechanical theory of heat* de Mac-Culloch, étude courte mais parfaitement logique et mathématiquement exacte; *Steam-Engine considered as a heat-engine* de Cotterill, travail plus étendu sur le même sujet, précieux à consulter pour les lecteurs du traité de Rankine : *Steam-Engine and prime movers;* c'est un excellent commentaire de ce dernier ouvrage, lequel fait autorité en tout ce qui concerne la théorie de la machine à vapeur. Les travaux de Bourne, Holley, Clarke et Forney sont des modèles pour tout ce qui touche aux questions pratiques que soulèvent la construction et le maniement des machines à vapeur.

INTRODUCTION

Le livre que la Bibliothèque scientifique internationale présente aujourd'hui à ses lecteurs français est une nouvelle histoire de la machine à vapeur. Il nous vient d'Amérique tout fraîchement éclos, car c'est l'année dernière qu'il a été publié à New-York; il porte en lui la verte saveur du jeune peuple au milieu duquel il est né.

On ne peut malheureusement pas dire chez nous que l'histoire de la machine à vapeur soit une vieille histoire. Hélas! cette histoire est fort peu connue; elle est reléguée au rang des spécialités, et nos lettrés ne s'en occupent guère. La chose est assez bizarre. Qu'il s'agisse d'un fait politique, de la vie d'un roi, d'un général, d'une courtisane, ou même d'une anecdote du siècle dernier, oh! alors, c'est tout autre chose! Il n'est pas de document qui reste ignoré, on épluche la moindre phrase, on déniche à chaque instant quelque mémoire oublié, quelque secret inédit; la *Chronique scandaleuse* surtout est aujourd'hui fort à la mode; la Dubarry et la Pompadour ont fait couler plus d'encre depuis dix ans qu'elles n'en ont jamais employé dans toute leur vie. Mais s'il est question de la merveilleuse machine qui a transformé la société moderne, rien de singulier comme la froideur et le peu d'empressement que l'on apporte à en rechercher les origines et les développements; les documents font défaut, même pour établir les faits les plus récents; de temps à autre, bien rarement, on voit apparaître quelque article sommaire, quelque courte monographie, autour de laquelle se fait presque aussitôt un silence décourageant.

La politique mérite-t-elle tout cet honneur, et la machine à vapeur tout ce dédain? La réponse n'est que trop facile à faire. Tandis que les partis montent au pouvoir et en descendent, que les gouvernements se liguent ou se séparent, que les traités se

font ou se défont, que les armées battent ou sont battues, l'humanité reste immobile et ne tire pas le moindre profit de ce jeu d'escarpolette; et de tout ce mouvement stérile, ce qui ressort de plus clair, ce sont les grandes dépenses d'argent et de forces vives matérielles ou intellectuelles, ce sont les guerres, dont notre siècle a donné de si nombreux et si épouvantables exemples, c'est le sang qui coule à torrents, ce sont les larmes, les ruines, la famine et le typhus.

Au milieu de cette agitation violente et funeste, quelques travailleurs obscurs, retirés au fond de leur cabinet, s'attachent opiniâtres à leur modeste besogne de fourmi ; ils alignent jour par jour les chiffres et les formules, s'acharnent après un boulon ou un clapet, tracent des épures, les effacent, les recommencent, remettent vingt fois l'ouvrage sur le métier, s'obstinent en dépit des déboires, et souvent, trop souvent, hélas! se ruinent et meurent à la peine. Sous l'effort continu de leur labeur ingrat, le progrès se fait lentement, mais sans relâche ; le bien-être se répand petit à petit et gagne les couches les plus profondes de la société; la terre livre un à un ses trésors ; les produits s'échangent d'un climat à l'autre; les haines de province à province et de peuple à peuple s'émoussent; la famine disparaît et la misère est vaincue.

Écoutons ce que disait, ces jours derniers, un des penseurs profonds[1] de notre époque. C'est un Espagnol, et il a vu de près les tristes résultats de la politique à outrance et des ambitions des hommes d'État:

« Eh bien ! je vous le dis, messieurs, les ingénieurs ne sont pas seulement des travailleurs s'occupant de la force et de la matière, ils sont plutôt des politiques et des moralistes. Lorsqu'ils paraissent occupés à étudier les détails de la machine Galloway, Wheelock ou tout autre, ils sont en train de résoudre, soit des problèmes politiques et sociaux, soit des problèmes de morale.

« Sous le point de vue politique, ils sont comme l'esclave qui, en s'aidant de quelques planches, d'une mauvaise scie et d'un marteau, cherchait à construire le premier moulin. Les seigneurs de la terre ne se méfiaient pas de son œuvre; et pourtant il était sur le point d'affranchir quinze ou vingt malheureuses femmes qui gémissaient au sein de chaque famille. Il fallait moudre le blé et, pour avoir de la farine et du pain, il fallait des esclaves: le moulin les a émancipés.

1. M. Meliton Martin.

« Chaque perfectionnement nouveau est l'émancipation de quelques centaines ou de quelques milliers d'hommes du rude labeur de la bête; c'est leur transformation en citoyens pensants et sentants. Voilà ce que fait l'ingénieur dans l'ordre politique et social. »

Et voici ce que répondait un des hommes les plus vénérables dont l'Angleterre s'honore[1] :

« On nous a dit dans notre jeunesse que le travail fut le châtiment de la faute de notre premier père. Si cela est vrai, les ingénieurs sont les grands prêtres qui ont construit les machines pour effacer la flétrissure de la malédiction divine. »

Ce sont là de belles et nobles pensées, qui méritent d'être méditées. On voit que les machines ne sont pas considérées dans tous les pays avec autant d'insouciance que dans le nôtre. Les bibliothèques anglaises, notamment, abondent en documents précieux sur l'histoire de la machine à vapeur et chaque année elles accumulent de nouveaux matériaux sur cet inépuisable sujet.

En France, nous en sommes encore à peu près réduits à la *Notice historique sur les machines à vapeur* de François Arago. Elle fut publiée pour la première fois dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* de 1829, et rééditée à plusieurs reprises avec des additions nombreuses. L'ouvrage de l'illustre astronome est resté un modèle de clarté, de bon sens, de critique sûre et irréfutable, de solide et saine discussion; la haute autorité et la logique limpide et inattaquable du grand écrivain ont réduit au silence bien des amours-propres, qui trouvaient leur pâture dans l'obscurité et les équivoques de l'histoire.

Mais la *Notice historique* date de près d'un demi-siècle; à l'époque où elle parut, la machine à vapeur était restée pour ainsi dire incrustée dans la forme que Watt lui avait donnée; son emploi était encore restreint et réservé aux grandes industries ; la navigation transocéanique existait à peine; la locomotive venait de naître; les membres de l'Institut révoquaient en doute la possibilité pratique des chemins de fer, et prédisaient hautement, à la tribune de la Chambre des députés, que le voyageur allant en chemin de fer de Paris à Versailles contracterait infailliblement des maladies mortelles au passage du souterrain de Saint-Cloud !

Que de progrès depuis lors ! quelles transformations profondes ! Arago a pressenti l'avenir immense réservé au puissant engin

1. M. Anderson.

créé par le génie de Watt; mais il ne lui a pas été donné de toucher à la terre promise; il est mort au moment même où la machine à vapeur allait prendre son essor et établir sa domination sur la société entière.

La tâche entreprise par Arago en est restée à peu près au point où il l'a laissée. L'histoire de la machine à vapeur dans ces quarante dernières années, si intéressante qu'elle soit, et si féconde en enseignements utiles, cette histoire n'a pas été faite en France.

La traduction que nous donnons du livre de M. Thurston va heureusement combler cette grave lacune.

La conception de ce livre est à la fois fort élevée et fort originale. L'auteur part de cette idée profondément vraie : *Les grandes inventions ne sont jamais l'œuvre d'un seul; une grande invention est la résultante des efforts accumulés d'un grand nombre de travailleurs.* Il compare très justement l'histoire de la machine à vapeur à celle d'un chêne qui, d'abord à l'état d'embryon, sort peu à peu de terre, étend lentement et progressivement ses racines et ses branches, et finit par devenir un arbre majestueux. Cette idée est prédominante d'un bout à l'autre de l'ouvrage et se manifeste dès la première page. Pour ne pas rompre trop brusquement avec les usages, nous avons donné à notre traduction un titre modeste et courant; mais l'auteur est plus énergique : il a inscrit sa comparaison favorite en tête de son livre, qu'il intitule : « Histoire de la *croissance* de la machine à vapeur (*A history of the* growth *of the steam engine*) ; et cette idée de croissance se retrouve à chaque page.

Le plan général de l'ouvrage est fort simple. L'histoire complète de la machine à vapeur est divisée en cinq grandes périodes, que l'on peut caractériser comme il suit :

1° Héron d'Alexandrie et Salomon de Caus;

2° Worcester, Papin et Savery;

3° Newcomen;

4° Watt;

5° Période moderne.

Le premier livre, intitulé : *la machine à vapeur à l'état de machine simple,* embrasse les deux premières périodes.

La *période spéculative* s'étend jusqu'au milieu du XVIIe siècle. Elle débute par les expériences de Héron et les travaux de la célèbre école d'Alexandrie, cette pépinière des savants naturalistes qui, les premiers, surent concevoir quelques idées, encore bien vagues, sur la nature des gaz et des vapeurs. La fameuse

bibliothèque d'Alexandrie fut saccagée et livrée aux flammes par les soldats victorieux de César; les restes de la ville furent détruits successivement, pendant les six siècles que durèrent les guerres acharnées dont l'Égypte fut le théâtre; et quand les Arabes s'emparèrent de ce malheureux pays, ils anéantirent les derniers débris du muséum et de la bibliothèque.

L'invasion romaine avait violemment interrompu les nobles travaux des philosophes alexandrins; ce foyer scientifique éteint, le monde reste plongé dans l'obscurité profonde, livré aux horreurs de guerres atroces et aux convoitises brutales des soldats de toutes sectes et de toutes origines. Il faut traverser seize cents années pour retrouver quelques faibles tentatives de renouer le fil de la science. Mais, à partir du XVII[e] siècle, le flambeau sacré se rallume; les études scientifiques reprennent faveur, et par les Besson, les Ramelli, les Porta, les Salomon de Caus, nous voyons en moins d'un siècle élucider un à un les phénomènes physiques qui concourent à la production de la force motrice par l'intermédiaire de la vapeur.

C'est ainsi que l'auteur nous amène à la deuxième époque, qui est la *Première période d'application.* C'est Edward Somerset, second marquis de Worcester, qui inaugure cette période; conformément à la version anglaise, l'auteur attribue à Worcester l'honneur d'avoir établi la première machine à vapeur qui ait fonctionné pratiquement; Savery suivit la voie ainsi ouverte, et il eut le bonheur d'introniser définitivement la machine à vapeur dans l'industrie, machine encore bien imparfaite, et comme principe, et comme fonctionnement, mais qui, telle quelle, rendit de sérieux services pour l'épuisement des mines. Pendant ce temps, son malheureux rival, qui était entré bien avant lui dans la carrière, qui avait poussé ses recherches bien plus haut et bien plus avant, Denis Papin mourait de misère, après avoir vu sous ses yeux la machine à laquelle il avait consacré son génie mise en pièces par une population jalouse.

Le livre II est consacré à l'étude de la machine de Newcomen. Dans la machine de Savery, un récipient unique servait à la fois de cylindre à vapeur, de pompe et de condenseur; en séparant les organes dont les fonctions sont diverses, Newcomen inaugurait cette série de spécialisations qui ont amené plus tard des progrès si importants. Le livre II est intitulé : *La machine à vapeur à l'état de machine composée.*

Newcomen a eu le mérite d'établir la première machine à vapeur à piston qui ait fonctionné industriellement. Empruntant

les dispositions imaginées par Denis Papin, il les compléta, les améliora et eut surtout l'heureuse chance de vivre dans un pays où l'industrie était libre, de travailler pour des propriétaires de mines et non pas pour une cour royale ou princière. Il réussit là où Papin avait échoué.

Newcomen était un simple forgeron; faute de connaissances suffisantes, il laissait beaucoup au hasard et à l'initiative de ses ouvriers. Le véritable ingénieur de la machine de Newcomen fut Smeaton; moins ingénieux peut-être, plus froid, plus méthodique, il en calcula exactement les proportions et sut lui faire rendre des services que l'inventeur n'eût jamais pu en tirer. L'influence de Smeaton sur la croissance de la machine à vapeur, pour être obscure, n'en a pas moins été considérable; il faut lire les admirables *Reports* de Smeaton où les questions les plus variées sur la mécanique pratique et le génie civil sont traitées avec une netteté de vues, une sûreté de jugement, une profondeur d'étude, qui pourraient servir de modèle à nos praticiens modernes. Smeaton fit entrer l'art de l'ingénieur dans la voie de l'exactitude et de la précision, et prépara ainsi l'avènement du grand Watt.

Le livre III, divisé en deux chapitres, comprend l'histoire de Watt et de ses contemporains.

L'histoire de Watt est beaucoup mieux connue et moins discutée que celles de ses prédécesseurs. Elle offre un noble exemple de ce que peut produire une belle intelligence, jointe à une étude attentive et persévérante. Certes, le génie est un don naturel, et celui qu'il échauffe peut entreprendre de grandes choses; mais il ne donne pas ses fruits spontanément; c'est une terre qui ne porte récolte qu'à la condition d'être péniblement labourée; l'inventeur le plus heureux est assujetti au travail assidu et opiniâtre, et il n'échappe pas à ces périodes d'affreux découragements, dans lesquels sombrent les âmes mal trempées. Les débuts de James Watt furent des plus rudes; lorsque après de longues et coûteuses recherches, il eut constitué de toutes pièces la machine à vapeur moderne, alors qu'il sentait entre ses mains le succès assuré, il fut arrêté net et obligé de renoncer à ses chers travaux: il était complètement ruiné et avait ruiné ses amis. Pendant plus de cinq ans il ne fut plus question de nouvelles expériences.

Par bonheur, il se rencontra un homme riche, puissant, actif, aux vues larges et élevées, un véritable chef d'industrie, digne de comprendre les belles idées du malheureux inventeur. Le

nom de Matthew Boulton restera toujours associé à celui de James Watt.

Nous voici arrivés au commencement du XIXe siècle. La machine à vapeur a acquis toute sa puissance. Le jeune chêne, dont nous avons vu l'embryon si misérablement ballotté par les orages, a grandi, il est devenu robuste et peut défier l'ouragan. Il va maintenant pousser des branches dans toutes les directions et couvrir l'humanité de ses bienfaits.

Cette seconde partie de l'ouvrage est peut-être la plus intéressante ; elle fourmille d'indications nouvelles, de documents ignorés jusqu'ici. Nous allons en retracer rapidement les grandes lignes.

Ici, l'ordre chronologique est abandonné : il ne saurait se prêter à l'étude des applications multiples qu'a reçues la machine à vapeur. Laissant pour le moment de côté la machine de manufacture, que Watt avait définitivement constituée, et qui est restée de longues années sans changements notables, l'auteur étudie séparément la machine locomotive et la machine de navigation. Tel est l'objet des livres IV et V.

Il rappelle, dans le livre IV, les tentatives curieuses qui ont été faites depuis longtemps pour appliquer la machine à vapeur à la traction des véhicules sur les routes. Ces tentatives étaient sur le point d'aboutir, quand le succès éclatant de la locomotive la *Fusée*, de Stephenson, au concours de Liverpool, en 1829, vint bouleverser de fond en comble les idées admises jusque-là sur les transports par terre; une révolution complète avait eu lieu; les chemins de fer étaient créés.

Le livre V est consacré aux machines de navigation. La part si considérable que les Américains ont prise dans la création de la navigation à vapeur est largement faite, et c'est justice; on parle quelquefois chez nous d'Oliver Evans, mais les noms de John Fitch et de Stevens sont presque ignorés. S'il est vrai que Denis Papin a construit le premier bateau à vapeur, que des études remarquables ont été faites par Périer et le marquis de Jouffroy, du moins on ne peut nier que c'est sur les grands fleuves d'Amérique que les steamers ont, pour la première fois, fait un service sérieux; que les premiers navires à vapeur qui aient affronté la haute mer étaient américains, et que la navigation à vapeur avait pris aux États-Unis un immense développement, alors qu'en Europe on en était encore aux tâtonnements.

Les études qui précèdent vont jusqu'à l'année 1850. La machine à vapeur ne cesse pas de s'accroître et de s'étendre, mais ses

développements prennent peu à peu un autre caractère. Le progrès ne marche plus par grandes découvertes; il se fait non moins rapidement, sans doute, mais d'une manière continue et sans secousses. La vapeur, définitivement asservie par les grandes conquêtes du commencement du siècle, devient chaque jour plus obéissante et plus souple; ce ne sont plus seulement des travaux de force qu'on lui demande, elle se prête avec non moins de docilité aux ouvrages les plus délicats, et les fait plus sûrement et plus économiquement. Le perfectionnement consiste en une multitude d'innovations et d'améliorations de détail, éparpillées dans tous les ateliers, s'adressant successivement à chacune des qualités du moteur, exaltant tantôt l'une, tantôt l'autre de ses propriétés, pour mieux l'adapter à tel ou tel service spécial. C'est, comme l'appelle l'auteur, la période de *raffinement*. Elle fait l'objet du livre VI.

Si l'on compare, par exemple, les machines de nos grands cuirassés modernes aux lourdes machines marines en usage il y a trente ans, on pourra se faire une idée du chemin qui a été parcouru ainsi pas à pas et par mouvements presque insensibles. Cette œuvre de raffinement est un édifice colossal dans son ensemble, qui s'est élevé assise par assise, chaque ingénieur, chaque ouvrier apportant une pierre ou un grain de sable. La machine actuelle résume l'ensemble de tous ces efforts. L'auteur fait, non sans raison, bonne part à ses compatriotes; le succès qu'a obtenu en Europe le système de distribution par déclenchement, connu sous le nom de Corliss, montre bien que cette part n'est pas exagérée. On trouvera, sur les origines de cette distribution, des renseignements intéressants et peu connus. D'autre part, praticien avant tout, l'auteur n'attache pas à la détente par déclenchement l'importance peut-être excessive qu'on lui a parfois attribuée; pour lui, la machine de l'avenir aura une distribution *à mouvement positif*.

Les deux derniers livres (VII et VIII) traitent de la théorie dynamique de la chaleur et de son application à la machine à vapeur. L'auteur rappelle que la puissance mécanique que renferme un morceau de houille a été, pendant les époques géologiques, empruntée au soleil sous forme de radiations calorifiques; cette chaleur, emmagasinée jadis dans le combustible, est restituée dans le foyer de nos chaudières.

Nous trouvons dans le livre VII une histoire résumée de la partie de la science qui se rapporte à la théorie de la machine à vapeur; les recherches mathématiques et expérimentales sur

lesquelles est fondée la science nouvelle de la chaleur, la thermodynamique y sont consciencieusement analysées[1].

Dans le livre VIII, l'auteur résume les renseignements de l'histoire; il trace un tableau net et précis des questions relatives à la puissance motrice de la vapeur, telles qu'elles sont posées aujourd'hui et, s'appuyant sur la loi de la continuité dans le progrès, il s'efforce de deviner l'avenir par le passé, et d'indiquer

1. Qu'il nous soit permis à ce propos de rectifier un point important de cet historique de la théorie mécanique de la chaleur, au moyen de documents récemment retrouvés, et que l'auteur ne pouvait connaître au moment où il écrivait son ouvrage. Ces documents ont été communiqués le 30 novembre 1878 à M. le président de l'Académie des sciences par M. H. Carnot. Il en ressort nettement que, si la loi de l'équivalence était ignorée de Sadi Carnot à l'époque où il écrivait son livre devenu célèbre, les *Réflexions sur la puissance motrice du feu,* la notion de l'identité entre la chaleur et le mouvement ne tarda pas à se dégager dans la suite de ses travaux. Voici quelques extraits des notes manuscrites laissées par ce profond esprit :

La chaleur n'est autre que la puissance motrice ou plutôt que le mouvement qui a changé de forme. C'est un mouvement dans les particules des corps. Partout où il y a destruction de puissance motrice, il y a, en même temps, production de chaleur en quantité précisément proportionnelle à la quantité de puissance motrice détruite. Réciproquement, partout où il y a destruction de chaleur, il y a production de puissance motrice.

On peut donc poser en thèse générale que la puissance motrice est en quantité invariable dans la nature, qu'elle n'est jamais, à proprement parler, ni produite ni détruite. A la vérité, elle change de forme, c'est-à-dire qu'elle produit tantôt un genre de mouvement, tantôt un autre; mais jamais elle n'est anéantie.

.....D'après quelques idées que je me suis formées sur la théorie de la chaleur, la production d'une unité de puissance motrice nécessite la destruction de 2,70 unités de chaleur (chaque unité de puissance motrice ou dynamie représentant le poids de 1 mètre cube d'eau élevé à 1 mètre de hauteur).

Cette dernière évaluation conduirait, pour le coefficient d'équivalence, au chiffre $\frac{1000}{2,70} = 370$, qui est du même ordre de grandeur que le nombre 425, aujourd'hui adopté.

On voit avec quelle précision Sadi Carnot avait posé la loi de l'équivalence entre le travail et la chaleur, ainsi que la loi, beaucoup plus générale, de la conservation de l'énergie. Les considérations qui l'ont amené à cette dernière loi sont d'une grandeur et d'une simplicité incomparables.

Ce n'est pas tout. Carnot trace un programme complet des *expériences à faire sur la chaleur et la puissance motrice.* Ces expériences ont été réalisées, telles qu'il les avait décrites, par Joule, Thomson, Hirn, Regnault, etc.

Combien doit-on regretter que ces notes précieuses n'aient pas été coordonnées et produites par leur auteur, qui fut, on peut le dire, le précurseur de la théorie mécanique de la chaleur?

dans quelle direction doivent être cherchés les nouveaux perfectionnements. Sur ce terrain difficile, l'auteur ne s'avance, d'ailleurs qu'avec une réserve qui donne plus de poids encore à ses conseils.

Tel est, dans son ensemble, ce bel ouvrage, qui sera lu, nous en avons la confiance, avec un vif intérêt, et qui mérite d'être relu et consulté. Il abonde en renseignements nouveaux et précieux, que l'indication des sources auxquelles ils sont puisés permet de compléter au besoin. Il renferme bien des faits qui vont à l'encontre des idées reçues en France; cela n'a rien d'étonnant, et il est fort naturel que l'on n'envisage pas les choses au même point de vue, suivant qu'on est d'un côté ou de l'autre de l'Atlantique; c'est là, d'ailleurs, un des grands attraits de la Bibliothèque internationale, de nous ouvrir des échappées en dehors du cercle dans lequel les étrangers nous accusent de toujours tourner.

L'ordonnance du livre est belle, mais un peu étrange; l'auteur s'y meut sans en être gêné; c'est un canevas et non pas la grille d'une prison. Cette liberté d'allures dans un ouvrage essentiellement scientifique étonnera peut-être plus d'un lecteur, habitué aux formes rigoureuses et un peu pédantes de notre littérature savante. Espérons aussi que les jolies vignettes empruntées à Stuart qui terminent chaque partie trouveront grâce devant les censeurs sévères, et se feront pardonner leur hardiesse en faveur de leur belle humeur. En somme ce livre, très sérieux au fond, fort indépendant dans la forme, est tout empreint de vigueur et d'une vitalité énergique. Il y a à le lire plaisir et profit.

Le devoir d'un traducteur est avant tout d'être fidèle; nous nous sommes efforcés de ne pas l'oublier; avons-nous réussi à transporter dans notre langue la vivacité et la verdeur du style original? Nous ne l'espérons guère; le lecteur en jugera. Les chiffres ont été revus avec soin, ainsi que les citations, surtout les citations d'auteurs français : chaque fois qu'il a été possible, on a donné le texte français original, afin d'éviter les inconvénients d'une double traduction : rien n'est fâcheux comme le français retour d'Amérique. Ce travail un peu pénible de traduction et de vérification n'a pas été sans compensations; il nous a conduit à des recherches curieuses, dont nous n'avons pas à parler ici, si ce n'est à propos d'un ou deux points d'un intérêt tout particulier.

L'histoire d'une invention est toujours chose délicate à faire; en outre des difficultés ordinaires de toutes les recherches histo-

riques, il y a à compter avec de nombreux obstacles, parmi lesquels les amours-propres, et surtout les amours-propres nationaux ne sont pas à dédaigner. Les sources d'informations sont parfois inabordables. Il ne faut donc pas être surpris si l'invention de la machine à vapeur n'est pas racontée partout de la même manière, même par des écrivains consciencieux et impartiaux.

L'auteur que nous étudions attribue à Porta l'idée d'élever l'eau au moyen de la pression de la vapeur et, suivant la tradition anglaise, désigne Worcester comme l'auteur de la première machine à vapeur industrielle.

Arago, dans sa *Notice historique*, refuse à Porta toute idée de se servir de la pression de la vapeur d'eau pour élever l'eau, et à Worcester l'honneur d'avoir inventé quoi que ce soit en fait de machine à vapeur.

Le lecteur a sous les yeux le texte du savant américain; il ne sera pas hors de propos, pour rétablir l'équilibre, de donner quelques extraits de la notice d'Arago.

En ce qui concerne Porta, les documents invoqués de part et d'autre sont les mêmes : ce sont les *Pneumaticorum libri tres* et *I tre libri de' spiritali;* la cause peut donc être jugée sur pièces.

L'auteur américain dit (p. 14) que, dans l'appareil représenté (fig. 4), « quand le feu est allumé sous la cornue, la vapeur produite monte à la partie supérieure du réservoir, et sa pression sur la surface de l'eau chasse celle-ci à travers le tube. *On peut alors la faire monter à telle hauteur qu'on le désire.* »

Arago fait observer : « Porta songeait si peu à donner son appareil comme propre à élever l'eau, qu'il dit en termes formels que le tuyau de dégorgement passe à une petite distance de la surface du couvercle de la petite boîte. Ainsi, ajoute-t-il, je n'ai aucun désir de le nier, Porta n'ignorait pas que la vapeur d'eau peut presser un liquide à la manière de l'air; mais rien, rien absolument ne prouve qu'il eût quelque idée de la grande force que cette vapeur est susceptible d'acquérir et de la possibilité de l'employer comme moteur efficace. Si cette notion spéciale ne lui avait pas manqué, Porta, le plus enthousiaste faiseur de projets dont l'histoire des sciences fasse mention, n'aurait certainement pas négligé d'en parler. » Puis, rectifiant une traduction infidèle du texte de Porta faite en Angleterre, Arago montre clairement que « Porta ne parle point de la machine de Héron; qu'il n'a eu, en aucune manière, l'intention de la perfectionner; que son but, son but unique, était de déterminer expérimentale-

ment, et par un moyen dont il est inutile de signaler ici tous les défauts, les volumes relatifs d'une quantité donnée d'eau et de la vapeur en laquelle la chaleur la transforme[1]. »

Il semble après cela que la cause soit entendue.

La question est plus difficile en ce qui concerne Worcester.

D'après notre auteur (p. 22 et 23), « l'appareil du marquis de Worcester fut pratiquement et utilement employé à élever l'eau à Vauxhall, près de Londres. » A l'appui de cette assertion, l'auteur produit trois vignettes : la première (fig. 7) est un croquis théorique ; « et l'on pense que très probablement ce croquis ressemble beaucoup à l'une des premières dispositions que Worcester avait imaginées. » Du reste, aucune indication à l'appui de cette probabilité. La deuxième et la troisième vignette (fig. 8 et 9) représentent un mur du château de Raglan, avec diverses cavités dans lesquelles ont pu être adaptés des appareils, puis une machine très analogue à celle de Savery, imaginée par Dirks, le biographe de la famille de Worcester, et qu'il propose comme « s'accordant parfaitement avec les indications fournies par la muraille et avec celles que donnent les textes ».

Quant aux documents cités, il y a d'abord le fameux livre intitulé : *A Century of the names and scantlings of inventions by me already practised,* publié en 1663 par le marquis de Worcester. Il y a, en outre, la biographie du marquis écrite par Dirks.

Tout le monde en conviendra, rien n'est irritant comme de se trouver en présence de deux affirmations opposées, portant sur un même fait, surtout lorsqu'elles sont l'une et l'autre apportées par des hommes respectables ; quoi de plus naturel, en pareil cas, que de chercher à tirer au clair la question litigieuse, en s'entourant des documents invoqués ? Nous nous sommes trouvé ainsi engagé, presque involontairement, dans des recherches ; le lecteur nous permettra d'exposer ici quelques-uns des résultats de ces investigations, le tout sous les plus grandes réserves, car on n'est pas fort à l'aise quand il s'agit de départager deux hommes tels que Thurston et Arago.

En ce qui concerne la *Century*, elle contient, sous le titre de 68e invention, un ensemble de faits se rapportant à l'action de la vapeur d'eau ; Arago a donné, de cette 68e invention, une traduction fort exacte, que nous reproduisons ci-après, et l'a discutée avec beaucoup de soin.

(1) *Œuvres de François Arago. Notices scientifiques*, t. II, p. 106. Gide et Baudry, 1855.

« 68e *Invention.* — J'ai inventé un moyen admirable et très puissant d'élever l'eau à l'aide du feu, non par aspiration, car alors on serait renfermé, comme disent les philosophes, *intra sphæram activitatis*, l'aspiration ne s'opérant que pour certaines distances; mais mon moyen n'a pas de limites, si le vase a une force suffisante. Je pris, en effet, un canon entier dont la bouche avait éclaté, et l'ayant rempli d'eau aux trois quarts, je fermai par des vis l'extrémité rompue et la lumière ; j'entretins ensuite dessous un feu constant et, au bout de vingt-quatre heures, le canon se brisa en faisant un grand bruit. Ayant alors trouvé le moyen de former des vases de telle manière qu'ils sont consolidés par la force intérieure et qu'ils se remplissent l'un après l'autre, j'ai vu l'eau couler d'une manière continue, comme celle d'une fontaine, à la hauteur de quarante pieds. Un vase d'eau raréfiée par l'action du feu élevait quarante vases d'eau froide. L'ouvrier qui surveille la manœuvre n'a que deux robinets à ouvrir, de telle sorte qu'au moment où l'un des vases est épuisé, il se remplit d'eau froide pendant que l'autre commence à agir, et ainsi successivement. Le feu est entretenu dans un degré constant d'activité par les soins du même ouvrier; il a pour cela tout le temps nécessaire durant les intervalles que lui laisse la manœuvre des robinets. »

Telle est, dans la *Century*, le seul point où il soit question de vapeur d'eau. Voici, croyons-nous, ce que l'on peut conclure du texte :

1° Worcester avait une notion précise de la force d'éclatement que peut produire la vapeur, puisqu'il a pu briser un canon en y chauffant de l'eau exactement confinée. Mais cette découverte est bien antérieure à Worcester, car soixante ans plus tôt, en 1605 Flurence Rivault citait la même expérience (p. 17);

2° Worcester avait pensé à élever l'eau par la pression de la vapeur; mais ce n'est que la répétition de l'expérience de Salomon de Caus, qui date de 1615;

3° Enfin, il y a une idée nouvelle: celle de se servir de deux vases au lieu d'un, afin d'élever l'eau d'une manière continue; si on lit attentivement le texte, qui est d'ailleurs fort obscur, on voit bientôt que le croquis représenté (fig. 7) ne traduit pas la pensée de Worcester, qu'il en est de même du croquis (fig. 8), imaginé par Dirks. L'appareil dont il s'agit, s'il a jamais été construit, devait être composé de deux récipients analogues à celui de Caus (fig. 5), juxtaposés *sur un même foyer*, et alimentés d'eau par des réservoirs placés à un niveau supérieur. D'une

part, il ne pouvait aspirer l'eau, l'auteur le dit expressément, d'autre part, le récipient contenant l'eau à élever était directement chauffé pour la production de la vapeur, et l'appareil n'élevait que de l'eau chaude. Ainsi les deux propriétés essentielles, l'aspiration et le débit en eau froide, que présentait la machine imaginée trente ans plus tard par Savery, et qui seules en ont fait le succès pratique, ces deux propriétés ne se retrouvent à aucun degré dans l'appareil que nous étudions. Worcester procède directement de Salomon de Caus; il n'est en aucune façon le prédécesseur de Savery; le moyen qu'il propose ne saurait conduire et n'a jamais conduit à des applications industrielles sérieuses.

Arrivons à d'autres documents qui, peut-être, nous instruiront davantage.

Ils sont contenus dans le livre: *Life, Times and scientific Labours of the marquis of Worcester*, 1865, London, Bernard Quaritch (Vie, époque et travaux scientifiques du marquis de Worcester). Cet ouvrage a été composé par Dirks, d'après des papiers de famille fournis par le duc de Beaufort, marquis et duc de Worcester, auquel il est dédié; on voit par la date, 1865, qu'il n'a point été connu d'Arago. La dédicace porte l'empreinte de la haute vénération et du respect presque filial dont l'auteur faisait profession à l'égard de l'illustre famille qui lui avait confié ses plus précieux documents.

Relativement à la question qui nous intéresse, on trouve dans ce livre, en outre de la reproduction de la *Century*, dont il a été parlé plus haut, quelques pièces dont nous donnons ci-dessous des extraits.

Page 559, annexe C.

« Machine commandant l'eau. — Exacte et vraie définition de la très merveilleuse machine, inventée par le très honorable et digne à juste titre d'être estimé et admiré) *Edward Somerset*, lord marquis de *Worcester*, et présentée par sa Seigneurie ellemême à son Excellente Majesté Charles second, notre très gracieux souverain...

« Un acte du Parlement garantit icelle......... Ledit acte a été passé le 3 juin 1663. »

Suit l'énumération des avantages que le marquis espère tirer de son invention, assainissement des marécages, alimentation d'eau des villes, assèchement des mines, etc.

Puis vient une description donnée au roi par Worcester de sa « machine merveilleuse ou commandant l'eau sans limite de hauteur ni de quantité, ne demandant aucune aide extérieure ou

additionnelle, aucune force pour être mise ou entretenue en activité, si ce n'est ce qui lui est apporté intrinsèquement par le fait même de son fonctionnement, soit la vingtième partie de celui-ci. Cette machine consiste en les parties suivantes :

« 1° Un contrepoids (counterpoize) parfait pour la quantité d'eau, quelle qu'elle soit ;

« 2° Un compensateur (countervail) parfait pour la hauteur d'élévation, quelle qu'elle soit ;

« 3° Un *primum mobile*, commandant à la fois la hauteur et la quantité, en manière de régulateur ;

« 4° Un vice-gérant ou compensateur (vice-gerent or countervail), tenant la place et donnant la force de l'homme, du vent, de la bête et du moulin ;

« 5° Un timon ou poupe, avec mèche et rênes (helm or stern, with bitt and reins) par lequel un enfant peut guider, ordonner et contrôler tout le fonctionnement ;

« 6° Un magasin spécial d'eau correspondant à la quantité d'eau et à la hauteur d'élévation voulues ;

« 7° Un aqueduc en rapport avec la quantité d'eau et la hauteur voulues ;

« 8° Une place pour que la fontaine originale ou même la rivière s'y jette, et naturellement de son propre accord s'incorpore à l'eau élevée, et tout au fond du même aqueduc quoique moins grande et moins haute.

« Par la divine Providence et l'inspiration céleste, telle est ma merveilleuse machine commandant l'eau sans limite de hauteur ni de quantité...

« *Exegi monumentum œre perennius...*

« Worcester. »

Ce document est de 1663 ; il est accompagné, suivant l'habitude de Worcester, d'une énumération surabondante des avantages que peut procurer la machine. La traduction ci-dessus est à peu près littérale. Nous avons tenu à mettre sous les yeux de nos lecteurs un échantillon de ce style mystique et plein d'emphase, couvert d'une obscurité recherchée, rempli de promesses, mais avare de renseignements précis, dans lequel une imagination prévenue peut, sans grand effort, trouver tout ce qu'elle désire.

Est-il possible, sur un pareil document et en présence des ouvertures pratiquées dans le mur de Raglan-Castle, de reconstruire de toutes pièces une machine telle que celle représentée fig. 8? Ne doit-on pas craindre que le respect, le dévouement

qu'inspirait à Dirks le noble nom de Worcester ne l'aient entraîné bien loin? On nous accordera sans peine que cette restauration sur de telles données est bien hypothétique. Des haies, des rainures, des restes de scellement dans une maçonnerie ne peuvent guère donner une idée du mode de fonctionnement de l'appareil métallique qui y était fixé. Était-ce un appareil à vapeur? un appareil hydraulique? un pont-levis? une herse? Il est impossible de le dire. Au cas particulier, rien ne prouve que les traces en question se rapportent soit à la machine indiquée à la 68e invention de la *Century*, soit à la *machine commandant l'eau.*

Bien plus, rien ne prouve que ces deux machines soient les mêmes; dans le texte traduit ci-dessus, on ne voit pas la moindre trace de l'emploi d'un foyer ou de vapeur d'eau; il est bien difficile de se faire une idée de la machine que Worcester avait en vue; on voit bien qu'il s'agissait d'élever l'eau, mais quel était le moteur? Peut-être l'auteur ne s'en est-il pas rendu compte, et a-t-il pris, comme tant d'autres inventeurs, ses espérances pour des réalités, et énoncé des résultats désirés comme résultats acquis; mais dans tous les cas il n'est en aucune façon question ni de vapeur, ni de chaleur, ni de feu. En lisant cette description ambiguë, nous songerions à quelque machine hydraulique, peut-être à une espèce de bélier. Peut-être encore, et non sans vraisemblance, est-ce une simple tentative de mouvement perpétuel.

Il est hors de doute que Worcester s'est beaucoup occupé d'hydraulique, qu'il payait des ouvriers et se livrait à des dépenses considérables pour construire des pompes, des jeux d'eau et faire des expériences variées. C'était là un amusement de grand seigneur. Il se plaisait à montrer ses châteaux d'eau à ses visiteurs. En 1669, il reçut Cosme de Médicis et lui fit voir, à Vauxhall, « une machine *hydraulique* qu'il avait inventée; elle élève l'eau à plus de 40 pieds géométriques par la force d'un seul homme; en un très court espace de temps, elle peut puiser quatre vases d'eau par un tube ou canal qui n'a pas plus d'un empan d'ouverture ». Tous ces travaux sur l'hydraulique, si ingénieux qu'ils puissent être, ne semblent pas, comme on a pu le croire, avoir le moindre rapport avec la machine à vapeur. Le seul appareil qu'on puisse faire rentrer dans cet ordre d'idées est celui décrit par la 68e invention de la *Century*. Mais c'est là une expérience qui paraît isolée, qui ne se rattache en rien ni à ce qui précède, ni à ce qui suit, ni aux travaux et recherches ordinaires de Worcester, et qui est mentionnée en passant, presque à titre de simple curiosité.

Nous sommes donc porté à croire que Savery est le premier qui ait construit une machine à vapeur élévatoire sans piston ayant fonctionné pratiquement ; que le premier il a appliqué industriellement les idées de Salomon de Caus, mais en y apportant des perfectionnements considérables : que, de même, Newcomen a réussi à faire entrer dans la pratique la machine à piston de Papin, mais sans en modifier notablement l'idée essentielle.

Il nous a paru utile d'appeler l'attention de nos lecteurs et de leur faire part de nos scrupules sur les points principaux qui ouvrent encore matière à discussion dans cette histoire si intéressante de la machine à vapeur. Mais en général on peut suivre avec sécurité le guide consciencieux et habile que nous envoie le Nouveau Continent.

J. Hirsch,
Professeur de machines à vapeur à l'École des Ponts et chaussées de Paris.

Nous terminons cet avertissement par un tableau des principales unités de mesure qui se rencontrent dans les corps de l'ouvrage, traduites en unités métriques. Peut-être eût-il été plus commode à la lecture de transformer immédiatement dans le texte les pieds en mètres et les livres en kilogrammes. Mais ce procédé, qui a été d'ailleurs appliqué quand c'était jugé utile, présente des inconvénients sérieux; il rend fort difficiles les vérifications et recherches supplémentaires : les mesures des anciennes machines sont toutes données en mesures anglaises, c'est dans ces mesures anglaises qu'il convient de les reproduire. Il a paru utile de ne pas altérer le texte de l'auteur, et de ne pas le rendre involontairement responsable des erreurs de calcul que le traducteur pouvait commettre. Un tableau permettant de faire rapidement les transformations numériques sans recourir aux ouvrages spéciaux a semblé devoir mieux remplir le but.

VALEURS DES PRINCIPALES UNITÉS DE MESURE EMPLOYÉES DANS CET OUVRAGE

Mesures de longueur

ANGLAISES	
1 foot (pied), (divisé en 12 pouces).	mètres $0^{m},304,794$.
1 inch (pouce).	centimètres $2^{c},54$.
1 yard (3 pieds).	mètres $0^{m},91438$.
1 statute mile (1760 yards) usité pour les mesures terrestres.	mètres $1609^{m},315$.
1 Marine or geographical Mile (de 60 au degré, usité sur mer).	mètres $1851^{m},852$.

Mesures de superficie

ANGLAISES

1 square foot (pied carré)	mètres carrés 0^{m2},0929.
1 square mile (mille carré).	kilom. carrés 2^{k},589,
1 acre (1840 yards carrés)	mètres carrés 4047.

Mesures de capacité

ANGLAISES

1 cubic foot (pied cube)	litres 28^{l},315.
1 gallon impérial	litres 4^{l},543.
1 bushel (boisseau, 8 gallons)	litres 36^{l},348.
1 quarter (8 bushels).	hectolitres 2^{h},908.

Poids

ANGLAIS. — POIDS AVOIR DU POIDS

1 pound (livre)	grammes 453^{g},59.
1 hundred weight (quintal 112 livres). . .	kilogrammes 50^{k},802.
1 ton (20 quintaux).	kilogrammes 1016^{k},048.

1 bushel de houille pèse de 30 à 38 kilog.

Monnaies

1 pound ou livre sterling anglaise, au pair	francs 25,22.
1 dollar américain au pair	francs 5,18.

Mesures dynamiques

ANGLAISES

1 foot pound (livre-pied)	kilogrammètres 0^{k},13825.
1 horse-power (33,000 livres-pieds par minute	kilogrammètre 75,9 par seconde (de 0,9 kilogram. supérieur au cheval français).

Mesures des pressions

ANGLAISES

1 livre par pouce carré.	kilogrammes par centim. 0,067
(La pression se compte toujours en sus de la pression atmosphérique.)	
14,8 livres par pouce carré.	kilogramme par centim. 1^{k},00.

Mesures composées.

Vaporisation et combustion

1 livre par pied carré.	kilog. par mètre carré 4^{k},8.

Rendement dynamique

1,000,000 pieds-livres par livre de charbon ou de vapeur consommée	kilog. par heure et par cheval de 75 kilogrammètres par seconde 0^{k},885.
1,000,000 pieds-livres par bushel de charbon brûlé	0,60 kilog. environ par heure et par cheval.

Mesures thermiques

Degrés Fahrenheit	$t.\,cent. = \frac{t.\,fahr. - 32}{1.8}$; *t.* cent. température centigrade. *t.* fahr. température Fahrenheit.
1 unité thermique anglaise (1 litre d'eau élevée d'un degré Fahrenheit)	calories 0^{c},2519.
Équivalent mécanique d'une unité thermique anglaise : 772 livres-pieds. . . .	Équivalent mécanique d'une calorie : kilogrammètres 423^{k},5.

HISTOIRE

DE LA

MACHINE A VAPEUR

LIVRE I

LA MACHINE A VAPEUR A L'ÉTAT DE MACHINE SIMPLE

CHAPITRE I

PÉRIODE SPÉCULATIVE
DEPUIS HÉRON JUSQU'A WORCESTER. (DE L'AN 200 AVANT J.-C. A L'ANNÉE 1650 DE L'ÈRE CHRÉTIENNE.)

Un des plus grands philosophes des temps modernes, l'auteur de ce système de philosophie scientifique qui consiste à suivre la marche de l'évolution, tant dans l'ordre physique que dans l'ordre intellectuel, Herbert Spencer a consacré un chapitre de ses *Premiers Principes* à l'étude des effets multiples des diverses forces, sociales et autres, qui vont modifiant sans cesse cet admirable et mystérieux univers dont nous faisons partie. Ingénieur lui-même, Spencer examine l'action exercée par les inventions nouvelles, par les nouvelles formes des mécanismes et par le progrès de l'organisation industrielle ; cette action profonde, incessante, il nous la montre dans un langage admirable de clarté et de précision. A l'appui de sa thèse, il expose les conséquences immenses amenées par l'introduction de la machine à vapeur et de sa dernière incarnation, la locomotive ; c'est là un des passages les plus saisissants de son ouvrage. La puissance de la vapeur et son importance

infinie comme agent civilisateur ont toujours été un des thèmes favoris des philosophes et des historiens, non moins que des poètes. De même que la religion fut à toute époque et reste encore le grand agent *moral* de la civilisation, que la science en est l'agent *intellectuel*, de même la machine à vapeur est devenue, de nos jours, l'agent *physique* le plus actif dans l'accomplissement de cette grande œuvre.

On tenterait vainement d'énumérer les avantages dont la race humaine lui est redevable : ce serait vouloir énumérer, pour ainsi dire, tout ce qui constitue le bien-être et le luxe dont nous jouissons aujourd'hui. Les progrès étonnants réalisés dans le siècle actuel sont dus, pour une très grande part, à l'invention et au perfectionnement de cette machine, aux applications ingénieuses qu'on a faites de sa puissance pour exécuter une foule d'ouvrages qui jadis mettaient à contribution les forces de l'homme. Il est impossible d'examiner les méthodes et les procédés d'une branche quelconque de l'industrie, sans découvrir quelque part l'assistance que lui prête ce merveilleux instrument. Débarrassant l'humanité du travail manuel, il permet à l'esprit de mieux utiliser la puissance qu'absorbaient auparavant les efforts physiques. L'intelligence, devenue ainsi maîtresse des forces naturelles, peut travailler maintenant en toute liberté. L'énergie, qui se perdait à porter de l'eau ou à fendre du bois, se dépense aujourd'hui pour accomplir une opération d'essence divine, la PENSÉE. Quoi donc de plus intéressant que d'écrire l'histoire du développement de cette machine prodigieuse, — la plus grande parmi tant de grandes créations de la faculté inventive, elle-même l'un des dons les plus précieux que l'homme tienne de Dieu?

En rappelant les souvenirs et les traditions qui se rapportent à la machine à vapeur, j'appelle l'attention sur cette vérité importante, dont l'histoire que je vais écrire est la démonstration : *Les grandes inventions ne sont jamais, et les grandes découvertes ne sont que bien rarement, l'œuvre d'un seul.* Toute grande invention est, en réalité, soit une combinaison de plusieurs autres secondaires, soit le der-

nier terme d'un progrès longtemps continué. Elle n'apparaît pas comme une création subite; elle *croît* peu à peu comme les arbres de la forêt. De là vient que, très souvent, la même invention se présente à la fois dans différents pays, faite simultanément par plusieurs personnes. Fréquemment aussi, une invention importante fait son entrée dans le monde avant que celui-ci ne soit prêt à la recevoir; et le malheureux inventeur apprend, par son insuccès, qu'il n'est pas moins fâcheux d'être en avance que d'être en retard sur son siècle. Pour qu'une invention réussisse, il faut non seulement qu'elle réponde à un besoin, mais que l'humanité soit intellectuellement assez avancée pour l'apprécier, pour la réclamer et en faire immédiatement usage.

Il y a plus d'un demi-siècle, un écrivain de talent de la Nouvelle-Angleterre, dans un article adressé à une revue spéciale anglaise, décrivait la nouvelle machine construite à Newport (Rhode-Island) par John Babcock et Robert L. Thurston, pour un des premiers bateaux à vapeur qui firent le service entre cette ville et New-York. En tête de sa description, il avait mis cette remarque, déjà faite bien des fois, que la machine à vapeur était sortie, parfaite dès l'origine, du cerveau de James Watt, absolument comme Minerve, adulte et tout armée, de la tête de Jupiter. Nous verrons, au contraire, en racontant l'histoire de la machine à vapeur, que si James Watt fut *un* de ses inventeurs, et probablement le plus grand de tous, il n'a été pourtant qu'un des nombreux chercheurs qui contribuèrent à la perfectionner, un de ces hommes qui nous ont rendu si familière sa formidable puissance et si faciles ses applications, que nous avons presque cessé de l'admirer, ou de nous étonner des œuvres de l'intelligence, plus admirable encore, qui l'a portée à un tel degré de perfection.

Il y a vingt et un siècles, la Grèce disparaissait comme pouvoir politique, bien que la civilisation grecque fût à son apogée. Rome, plus grossière que ses voisins policés, devenait chaque jour plus forte et s'agrandissait rapidement par l'annexion des États moins puissants qu'elle.

L'Égypte, dont la civilisation avait précédé celles de la Grèce et de Rome, ne tomba que deux siècles après sous les coups de ses jeunes rivales et devint une province romaine. Sa ville principale était alors Alexandrie, cité fondée par le grand capitaine dont elle porte le nom et qui, dans ce temps-là, était grande et prospère. Elle était devenue le centre du commerce de l'univers, l'asile des savants et de la jeunesse studieuse ; sa population était la plus riche et la plus civilisée du monde alors connu.

C'est parmi les restes de cette antique civilisation égyptienne que nous trouvons les premiers souvenirs relatifs aux origines de la machine à vapeur. Dans Alexandrie, résidence d'Euclide, le grand géomètre, un savant écrivain nommé Héron, contemporain peut-être de l'habile ingénieur et mathématicien Archimède, rédigea un manuscrit auquel il donna le titre de « Spiritualia seu Pneumatica [1]».

1. Les anciens philosophes grecs possédaient quelques notions sur l'air et la vapeur. Aristote parle nettement, dans sa *Météorologie,* de la vaporisation de l'eau sous l'action du feu, de la vaste distillation qui se produit à la surface des mers par l'effet des rayons solaires ; il attribue les nuages et les pluies à la condensation de ces vapeurs par le froid des régions supérieures ; il indique clairement que la vaporisation sépare l'eau pure du sel en dissolution :

(Liv. II, chap. II, § 5.) « Le soleil faisant sa révolution,... il arrive que la partie la plus légère et la moins dense (de l'eau de mer) est enlevée chaque jour et est portée, divisée et vaporisée dans la région supérieure; et là, se condensant par le poids, elle est ramenée de nouveau sur la terre.»

(*Ibid.,* § 14.) « La partie salée y demeure (dans la mer) à cause de son poids, tandis que la partie douce et potable s'élève à cause de sa légèreté. »

(Liv. II, chap. III, § 31.) En se vaporisant, l'eau de mer devient potable, et la partie vaporisée ne se résout point en eau de mer lorsqu'elle se condense de nouveau. »

Ailleurs il est fait distinction entre l'air et la vapeur qu'il peut contenir.

De certains passages du même ouvrage, relatifs aux tremblements de terre, on a voulu inférer qu'Aristote connaissait les effets que peut produire la pression de la vapeur; il ne paraît point qu'une telle conclusion soit légitime. La notion de la pression d'un fluide élastique semble avoir échappé aux contemporains d'Aristote; il est question dans Anaxagore de l'expérience qui consiste à renverser un vase l'ouverture en bas et à l'enfoncer dans l'eau; le liquide ne remonte point dans le vase jusqu'à ce

On ne sait si Héron avait inventé lui-même quelques-uns des appareils décrits dans son ouvrage. Il est très probable que la plupart étaient connus depuis longtemps, ou furent proposés par Ctésibius, inventeur célèbre par le grand nombre et le caractère ingénieux des machines hydrauliques et pneumatiques qu'il a imaginées. Dans l'introduction de son livre, Héron dit avoir l'intention de décrire les machines existantes et les anciennes inventions, en y ajoutant les siennes propres. Mais rien, dans le texte, n'indique à qui les différents appareils doivent être attribués [1].

La première partie de l'ouvrage de Héron est consacrée à des applications du siphon. La onzième proposition est la première où il soit question d'employer la chaleur à mettre des fluides en mouvement.

Un autel est creux et hermétiquement clos ainsi que son soubassement. On verse dans celui-ci un liquide où plonge l'extrémité inférieure d'un tube qui traverse une statuette debout devant l'autel et va se terminer dans un vase qu'elle tient renversé au-dessus. Lorsqu'on allume du feu sur cet autel, la chaleur fait dilater l'air qu'il contient; et le liquide, forcé de remonter dans le tube, sort du vase tenu par la statuette, qui semble ainsi offrir une libation. On trouve dans cet appareil de physique amusante le principe essentiel de toutes les machines thermiques modernes : la transformation de l'énergie [2], qui,

qu'on ait ouvert, dans le fond, un orifice par lequel l'air puisse s'échapper; mais cette expérience n'offre qu'un rapport bien éloigné avec l'idée de la pression de l'air. *(Note du traducteur.)*

1. Le *British Museum* contient quatre éditions manuscrites des *Pneumatiques* de Héron, du XVe et du XVIe siècle. Ces manuscrits ont été étudiés avec grand soin. Il en a été fait, par le professeur J.-G. Greenwood, une traduction publiée sur la demande de M. Bennett Woodcroft, auteur d'un petit traité fort estimable sur *la Navigation à vapeur*. C'est là, autant que l'auteur puisse le savoir, la seule traduction anglaise existante d'une partie des œuvres de Héron.

2. *Energy,* ce qu'on appelle habituellement en français la force vive. Nous demandons la permission d'employer l'expression anglaise, qui semble plus heureuse que la nôtre à laquelle on a souvent reproché, non sans raison, d'être impropre et mal choisie. *(N. du trad.)*

de l'état d'énergie calorifique ou chaleur, passe à celui d'énergie mécanique ou travail. Il n'est nullement improbable que ce prototype de nos merveilleuses machines modernes ait été connu bien des siècles avant Héron.

Dans ce même ouvrage sont encore décrites plusieurs machines hydrauliques, parmi lesquelles on retrouve la pompe à incendie, manœuvrée à bras, que nous connaissons tous et qui n'a pas cessé d'être en usage dans une foule de nos petites villes. La plupart de ces appareils

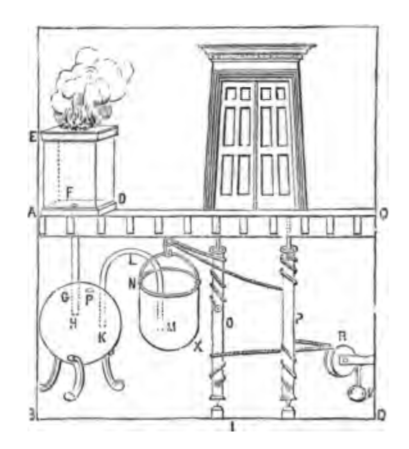


Fig. 1. — Ouverture des portes d'un temple par l'air chauffé (200 ans avant J.-C.).

doivent sans doute être attribués à Ctésibius, et nous n'avons pas à les décrire ici.

Toutefois une machine à air chaud, qui fait le sujet de la trente-septième proposition, présente un réel intérêt.

Héron expose une méthode pour faire ouvrir les portes d'un temple en allumant simplement un feu sur l'autel. Le moyen qu'il indique est ingénieux, et son appareil contient tous les éléments de la machine du marquis de Worcester, que l'on considère généralement comme la première machine à vapeur véritable, avec ce seul et capital défaut, qu'on employait ici, comme fluide expansif, de l'air au lieu de vapeur.

Le dessin ci-dessus (fig. 1), emprunté à la traduction de Greenwood, indique clairement la disposition.

Sous les portes du temple, dans la chambre ABCD, se trouve un vase sphérique H contenant de l'eau, dont la partie supérieure communique par un tube FG avec la caisse DE, imperméable à l'air, qui constitue l'autel placé au-dessus.

Un autre tube KLM part du fond du vase H, et, remontant en forme de siphon, conduit au fond de la cuve NX. Celle-ci est suspendue à une corde passant sur une poulie, puis s'enroulant autour de deux cylindres verticaux OP qui tournent sur des pivots et entraînent dans leur mouvement les portes du temple. D'autres cordes passent sur une poulie R et supportent un contrepoids W.

Lorsqu'on allume du feu sur l'autel, l'air qu'il contient s'échauffe et se dilate; il sort par le tube FG et force l'eau du vase H à se rendre dans la cuve NX, en passant par le siphon KLM. Le poids de la cuve, qui descend alors, fait tourner les cylindres OP, soulève le contrepoids et ouvre ainsi les portes du temple. Dès que le feu s'éteint, au contraire, l'air se contracte, l'eau revient, par le siphon, de la cuve dans la sphère, le contrepoids retombe et les portes se ferment.

Héron décrit ensuite un autre appareil, dans lequel la cuve est remplacée par un sac imperméable à l'air. Ce sac, se dilatant quand l'air échauffé y pénètre, se contracte dans le sens vertical et fait ainsi fonctionner le mécanisme, qui, pour tout le reste, est semblable à celui que nous venons de décrire.

Dans ces appareils, le vase sphérique est le type exact de ceux qu'employèrent, des siècles plus tard, plusieurs soi-disant inventeurs de la machine à vapeur.

La proposition 45 décrit l'expérience bien connue d'une balle soutenue en l'air par un jet de fluide. Dans l'exemple cité, la vapeur est produite dans une chaudière fermée, et sort d'un tuyau fixé au sommet; la balle danse à l'extrémité du jet.

Le n° 47 indique une disposition reproduite plus tard, —

réinventée peut-être, — par le second marquis de Worcester.

Une caisse fermée très solide, ABCD (fig. 2), forme un piédestal sur lequel sont disposés un vase sphérique EF et un bassin. Un tube HK part du fond de la caisse et débouche à la partie supérieure de la sphère; tandis qu'un autre, en forme de siphon, va du fond de cette dernière au bassin M. Un tuyau de décharge partant du fond de ce bassin se

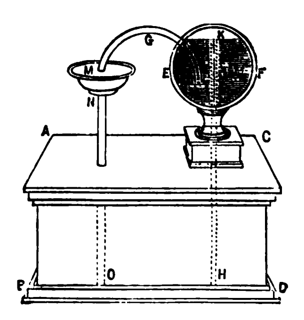


Fig. 2. — Fontaine à vapeur (200 ans avant J.-C.).

rend au réservoir AD. Tout cet ensemble s'appelle : « une fontaine qui coule sous l'action des rayons du soleil. »

Elle fonctionne comme il suit. Le vase EF étant rempli presque entièrement d'eau ou d'un autre liquide, et exposé aux rayons du soleil, l'air qui se trouve au-dessus de l'eau se dilate et la fait monter par le siphon G jusque dans le bassin M, d'où elle retombe dans le piédestal creux ABCD.

Héron ajoute qu'en faisant cesser l'action des rayons solaires, l'air de la sphère se contractera, et l'eau du piédestal remontera dans celle-ci. Or ce dernier phénomène ne peut évidemment se produire que si l'on a fermé le tube G avant de laisser commencer ce refroidissement. Il faudrait pour cela un robinet, dont il n'est pas question, et il est très probable que tout cet appareil n'a jamais existé que sur le papier.

Le manuscrit décrit encore plusieurs chaudières à vapeur, qui ne sont d'ordinaire que de simples tubes ou

vases cylindriques. La vapeur qu'en dégage l'action du feu allumé sur l'autel produit un jet dont le souffle est, soit dirigé sur le feu lui-même, soit employé à « faire siffler un merle » ou à sonner la trompe d'un triton, ou à toute autre besogne également inutile. Dans l'appareil n° 70, la vapeur s'échappe d'une roue à réaction tournant dans un plan horizontal, et fait ainsi danser des figurines en cercle autour de l'autel. Une disposition mieux comprise et plus connue de cette dernière machine est celle qu'on a souvent décrite et présentée comme la « première machine

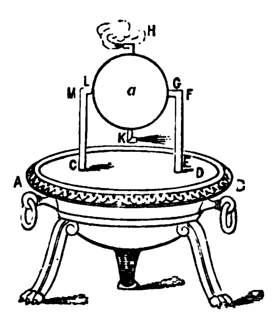


Fig. 3. — Machine de Héron
(200 ans avant J.-C.).

à vapeur ». Le dessin qu'en donne Stuart ressemble d'une façon générale, sauf plus de soin dans les détails, à celui copié par Greenwood et que nous reproduisons ici, comme représentant mieux la forme simple que le mécanisme de l' « éolipyle », ou boule d'Éole, devait affecter dans ces temps primitifs (fig. 3).

La chaudière AB contient de l'eau et se ferme hermétiquement au moyen du couvercle CD. Un globe est supporté au-dessus par deux tuyaux dont l'un CM se termine par un pivot L, tandis que l'autre EF s'ouvre directement dans la sphère en G. Deux tubes courts H et K, repliés à angle droit et ouverts, sont fixés aux extrémités d'un même diamètre.

Quand on allume du feu sous la chaudière, la vapeur produite se rend par le tube EFG dans le globe, d'où elle

ressort avec violence par les tubes HK, de sorte que la réaction fait tourner la sphère autour de son axe GL.

Le dessin plus soigné (pl. I), qui forme le frontispice de ce volume représente un appareil du même genre. Son agencement et son ornementation caractérisent bien l'art ancien et l'idée qu'avaient les Grecs de la machine à vapeur.

Cet « éolipyle » consistait en un globe X, suspendu entre deux tourillons GO, par l'un desquels la vapeur vient de la chaudière P située au-dessous. Les tubes recourbés W et Z font sortir cette vapeur dans des directions telles, que la réaction produit un mouvement rotatoire du globe, absolument comme celui des roues hydrauliques à réaction est causé par l'écoulement de l'eau.

On ne sait si cette machine fut jamais autre chose qu'un simple objet d'amusement, quoique certaines personnes autorisées aient supposé qu'elle était réellement employée par les prêtres grecs, pour mettre en mouvement divers appareils dans leurs temples.

Il est déjà bien digne de remarque que, pendant tant de siècles, la puissance de la vapeur ait pu se manifester partout dans les phénomènes naturels, et que l'humanité ait vécu presque jusqu'à l'ère chrétienne sans utiliser cette force, même pour faire mouvoir un jouet d'enfant; mais ce qui surprend plus encore, c'est que depuis Héron nous ne trouvions aucune preuve sérieuse de son application à des usages pratiques, avant plusieurs centaines d'années.

Dans les pages de l'histoire et dans les traités spéciaux, nous rencontrons bien çà et là une indication montrant que la connaissance de la force de la vapeur ne s'était pas perdue. Mais il est regrettable de voir les biographes et les historiens si peu préoccupés de chercher et de nous transmettre des renseignements sur les progrès de cette invention et de tant d'autres non moins importantes, aussi bien que sur les perfectionnements apportés dans les arts mécaniques.

Malmesbury raconte (*Anecdotes* de Stuart) qu'en l'an 1125 il existait dans l'église de Reims une horloge imaginée ou construite par Gerbert, professeur aux écoles de cette ville,

et un orgue que faisait marcher l'air sortant d'un vase dans lequel il était comprimé « par de l'eau chauffée ».

Vers le milieu du XVI[e] siècle, Jérôme Cardan, génie mathématique extraordinaire, philosophe fort excentrique et médecin distingué, appela dans ses écrits l'attention sur la puissance de la vapeur et sur la facilité avec laquelle un vide peut être obtenu par sa condensation. Ce Cardan est l'auteur de la «formule de Cardan», ou règle pour résoudre les équations cubiques, et il inventa le « tournebroche à courant d'air » ou « à fumée » (*smoke-jack*). On l'a traité de «philosophe, de jongleur et de fou» : c'était certainement un mathématicien savant, un médecin habile et un bon mécanicien.

On trouve, dans l'histoire du XVI[e] siècle, des preuves nombreuses qu'il existait alors certaines connaissances sur les propriétés de la vapeur, et comme le pressentiment des avantages qu'on devait plus tard en retirer. En 1571, Mathésius décrit, dans un de ses sermons, un appareil qu'on peut qualifier de machine à vapeur ; il insiste sur les « formidables effets que peut produire l'action volcanique d'une petite quantité de vapeur confinée[1] » ; et un autre auteur employait l'éolipyle à vapeur de Héron pour faire tourner la broche, faisant ainsi, et avec avantage, concurrence au tournebroche à fumée de Cardan.

Cet inventeur, comme le dit Stuart, énumérait très minutieusement les qualités de son appareil. Il revendiquait pour celui-ci l'avantage « de ne rien manger, tout en constituant en outre une garantie pour les convives dont le caractère soupçonneux rend l'appétit délicat, et qui, de cette façon, seront certains que le marmiton n'a pas mis la patte au rôti en l'absence de la ménagère, pour se donner le plaisir de lécher ses doigts malpropres ». (*History of the Steam-Engine*, 1825.)

Jacob Besson, professeur de mathématiques et de philosophie naturelle à Orléans, fut, en son temps, célèbre

1. *Berg Postilla, oder Sarepta von Bergwerk und Metallen.* Nuremberg, 1571.

comme mécanicien et renommé pour son habileté à inventer des modèles de démonstration pour ses cours. De ses travaux, réunis et publiés par Beroaldus en 1578[1], il résulte qu'il trouvait ses contemporains assez éclairés pour les engager à l'étude sérieuse de la mécanique appliquée et des machines. Il y eut vers ce temps un réveil marqué dans l'esprit des hommes les plus intelligents du siècle, qui commencèrent à comprendre l'utilité de la mécanique pratique. Un opuscule scientifique, publié à Orléans en 1569, et probablement dû à Besson, décrit avec beaucoup d'intelligence la production de la vapeur par l'échauffement de l'eau, et ses propriétés particulières.

Les Français commençaient alors à s'intéresser à la mécanique et aux sciences qui s'y rattachent; les philosophes et les lettrés nés dans le pays, ou que les souverains faisaient venir de l'étranger, comprenaient mieux la nature et l'importance des études qui ont trait au travail de l'ingénieur et du mécanicien.

Agostino Ramelli, Italien de bonne famille, soldat et ingénieur de profession, étudiant et artiste à ses heures de loisir, naquit à Rome où il fit son éducation. Plus tard il vint à Paris, et en 1588 il écrivit un livre[2] dans lequel il décrit beaucoup de machines adaptées à différents usages, avec un talent qui n'est égalé que par l'exactitude et la perfection générale de ses dessins. Ce travail fut publié pendant que son auteur résidait dans la capitale de la France, où il vivait d'une pension que Henri III lui avait accordée pour ses longs et fidèles services.

Les ouvrages de Besson et de Ramelli sont les premiers traités de quelque importance sur la mécanique générale. Ils furent tout à la fois des stimulants utiles à l'étude de cette science, et la source où, pendant bien des années, les écrivains postérieurs puisèrent la plupart des renseigne-

1. *Theatrum instrumentorum et machinarum Jacobi Bessoni, cum Franc Beroaldus figurarum declaratione demonstrativa.* Lugduni, 1578.

2. *Le diverse e artificiose Machine del capitano Agostino Ramelli, del Ponte della Prefia.* Paris, 1588.

ments qu'ils donnaient sur les machines. Il en est beaucoup de décrites dans ces livres, qui furent plus tard réinventées et présentées comme nouvelles par d'autres mécaniciens.

Léonard de Vinci, bien connu comme mathématicien, ingénieur, poète et peintre du xvi[e] siècle, a décrit, paraît-il, un canon à vapeur, qu'il appelle l' « architonnerre » et qu'il attribue à Archimède. C'était un engin de cuivre, qui semble avoir possédé une puissance considérable. Il lançait un boulet du poids d'un talent. On obtenait la vapeur en faisant tomber, dans un vase clos, de l'eau sur des surfaces chauffées par un feu de charbon. Il se produisait une expansion soudaine qui projetait le boulet.

En 1825, le surintendant des Archives royales d'Espagne à Simancas a fait connaître un mémoire, qu'il disait y avoir découvert, et où il était rendu compte d'une tentative faite en 1543 par Blasco de Garay, officier de la marine espagnole sous Charles-Quint, pour faire marcher un vaisseau par le moyen de roues à aubes, celles-ci étant mues elles-mêmes, avait-on conclu de la description donnée, par une machine à vapeur.

Il est impossible de dire jusqu'à quel point cette histoire est digne de foi; mais si elle était vraie, ce serait là le premier essai connu d'appliquer la vapeur à produire une force dans un but d'utilité pratique. On ne sait rien de la forme de la machine employée; tout ce qu'il en est dit, c'est qu'un « vase d'eau bouillante » faisait partie de l'appareil.

Toutefois le rapport est, à d'autres points de vue, tellement circonstancié, qu'il a trouvé créance auprès de bien des gens; mais il est regardé comme apocryphe par le plus grand nombre des écrivains qui se sont occupés de la question. Il fut publié en 1826 par M. de Navarrete, dans la « Correspondance astronomique » de Zach, sous la forme d'une lettre de Thomas Gonzalès, directeur des Archives royales de Simancas (Espagne).

En 1601, Giovanni Battista della Porta, dans un ouvrage appelé *Spiritali*, décrivit un appareil par le moyen

duquel la pression de la vapeur pouvait être utilisée pour élever une colonne d'eau. Il comportait l'emploi de la condensation pour produire un vide dans lequel l'eau devait se précipiter.

Porta était, dit-on, un gentilhomme riche, mathématicien, chimiste et physicien, adepte enthousiaste de la science. Sa maison de Naples était le rendez-vous des étudiants, des artistes et des savants distingués dans toutes les branches. Il inventa la lanterne magique et la chambre obscure dont il donne la description dans son commentaire sur les « pneumatica ». La machine décrite dans son ouvrage[1] est représentée sur la figure 4 ; elle ne différait de la disposition indiquée par Héron que par l'emploi de la vapeur au lieu de l'air échauffé pour agir par pression sur le liquide.

La cornue ou chaudière est adaptée à un réservoir d'où un tube recourbé conduit à l'extérieur. Quand le feu est allumé sous cette cornue, la vapeur produite monte à la partie supérieure du réservoir, et sa pression sur la surface de l'eau chasse celle-ci à travers le tube. On peut alors la faire monter à telle hauteur qu'on le désire. C'est ce que Porta appelait une « fontaine de Héron » perfectionnée, et ce qu'on a nommé sa « fontaine à vapeur ». Il décrivit avec une parfaite exactitude la manière dont la condensation de la vapeur pouvait être utilisée pour produire un vide, et esquissa un appareil dans lequel le vide ainsi obtenu était rempli d'eau qu'y chassait la pression atmosphérique extérieure. Ses machines ne semblent avoir été appliquées à aucun usage pratique. Nous ne sommes pas encore sortis de la période des recherches spéculatives, et nous approchons seulement de celle des applications. Porta n'en mérite pas moins, pour avoir proposé une modification essentielle, une place honorable dans cette série d'inventeurs qui commence avec Héron et ne finit pas même avec Watt.

1. *Pneumaticorum libri tres*, etc., in-4°, Naples, 1601. — *I Tre Libri Spiritali*, Napoli, 1606.

L'emploi de la vapeur, dans la fontaine de Héron, était un pas en avant, moins frappant peut-être, mais aussi nécessaire que tous les perfectionnements ultérieurs de la machine. Dans l'appareil de Porta, nous devons aussi remarquer la séparation de la chaudière d'avec le « récipient

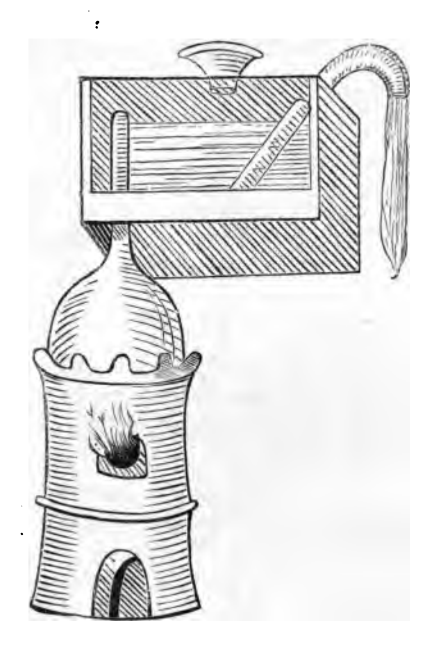


Fig. 4. — Appareil de Porta, 1601.

de pression » — disposition souvent présentée, par des inventeurs plus récents, comme originale et constituant un titre légitime à une distinction particulière.

Le grossier dessin ci-dessus (fig. 4) est copié du livre de Porta et montre nettement la chaudière placée sur un fourneau par la porte duquel on voit sortir la flamme, tandis qu'au-dessus se trouve le réservoir contenant de l'eau. L'ouverture que celui-ci présente à la partie supérieure est, comme on le voit, fermée par un bouchon ; et la vapeur venant s'accumuler dans le haut du réservoir, l'eau est

chassée à travers le tube, partant du fond, que l'on aperçoit à droite.

Florence Rivault, gentilhomme de la chambre sous

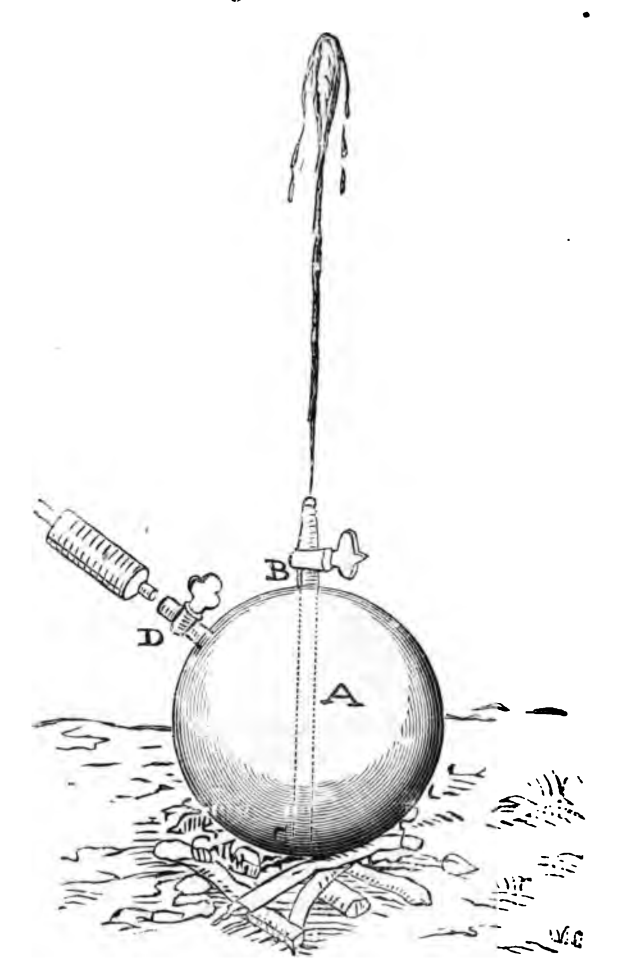


Fig. 5. — Appareil de Salomon de Caus, 1615.

Henri IV et précepteur de Louis XIII, avait, d'après le savant français Arago, découvert, dès 1605, que de l'eau,

enfermée dans une bombe et chauffée, la ferait éclater, si épaisses qu'en fussent les parois. Le fait fut publié dans le traité d'artillerie de Rivault en 1608. Il dit : « L'eau est convertie en air, et sa vaporisation est suivie d'une explosion violente. »

En 1615, Salomon de Caus, qui avait été ingénieur et architecte sous Louis XIII, roi de France, et qui fut plus tard au service du prince de Galles, fit paraître à Francfort un ouvrage intitulé : *Les Raisons des forces mouvantes, avec diverses machines tant utiles que plaisantes,* dans lequel il démontrait son « théoresme » : « L'eau montera, par aide du feu, plus haut que son niveau », en décrivant une machine destinée à élever l'eau par le pouvoir expansif de la vapeur.

Dans le dessin que nous donnons ici (fig. 5), lequel est copié sur l'original, qui se trouve dans *Les Raisons des forces mouvantes,* A est la sphère en cuivre contenant de l'eau ; B, le robinet à l'extrémité du tube puisant l'eau dans le fond C du vase ; D, le robinet qui sert à remplir celui-ci. Le dessin est probablement de la main même de de Caus.

La machine de de Caus, comme celle de Porta, consistait donc en un vase de métal, en partie rempli d'eau, dans lequel était ajusté un tube, descendant presque jusqu'au fond et ouvert à l'extrémité supérieure. Lorsqu'on chauffait l'appareil, la vapeur formée chassait, par sa force élastique, l'eau du vase à travers le tube vertical. Elle l'y faisait monter à une hauteur qui n'avait d'autre limite que le désir du constructeur ou la force de résistance du vase.

En 1629, Giovanni Branca, de la ville italienne de Lorette, décrivit, dans un ouvrage[1] publié à Rome, un certain nombre de dispositions mécaniques ingénieuses, parmi lesquelles était une machine à vapeur (fig. 6) dans laquelle ce fluide, sortant d'une chaudière, allait frapper sur les palettes d'une roue horizontale. Il proposait d'appliquer cette machine à beaucoup d'usages utiles.

1. *Le Machine diverse del signor Giovanni Branca, cittadino romano, ingegniero, architetto della Sta Casa di Loretto.* Roma, MDCXXIX.

A cette époque, il se faisait en Angleterre des expériences qui bientôt eurent pour résultat une application utile de la puissance de la vapeur à l'élévation de l'eau.

Une patente du 21 janvier 1630 fut octroyée par le roi Charles Ier à David Ramseye[1], pour diverses inventions dont voici la liste : « 1° Produire en plein champ, sur quelques acres de terrain, du salpêtre en quantité suffisante pour la consommation de tous nos États; 2° puiser, au moyen du feu, l'eau contenue dans les fosses profondes; 3° faire marcher d'une manière continue toutes sortes de moulins en eau dormante, sans le secours du vent, de l'eau, ni des chevaux; 4° faire des tapisseries de toute espèce, sans l'emploi d'aucun métier à tisser, ni d'aucun procédé ayant jamais été en usage dans ce royaume; 5° faire marcher les barques, bateaux et navires contre vent et marée; 6° augmenter la fertilité de la terre; 7° épuiser l'eau contenue dans les lieux bas, les mines et les fosses à charbon, par un nouveau procédé n'ayant encore jamais été mis en pratique; 8° rendre malléable le fer dur, et rendre aussi le cuivre doux et tenace, ce qui n'est pas en usage dans ce royaume; 9° faire blanchir très promptement la cire jaune. »

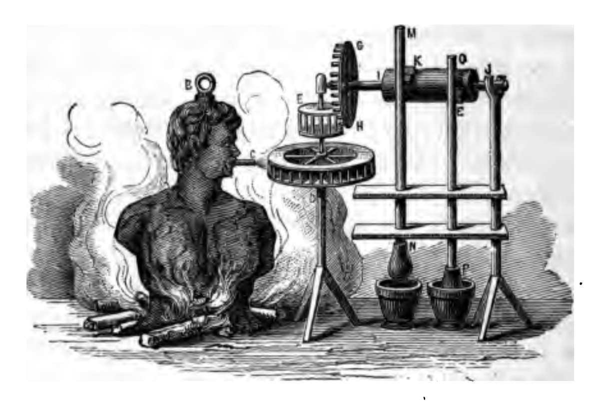


Fig. 6. — Machine à vapeur de Branca, 1629.

1. *Fœdera* de Rymer, Sanderson. — *Hydraulics* d'Ewbank, p. 419.

Tel semble avoir été le premier renseignement authentique, relatif à l'emploi de la vapeur dans les arts, qu'on ait trouvé dans la littérature anglaise. L'inventeur breveté jouissait de ses droits pendant quatorze ans, à la condition de payer à la couronne une redevance annuelle de 3 livres 6 shillings 8 pence.

Le titre deuxième du brevet ci-dessus concerne bien clairement un emploi de la vapeur; car c'est en ces termes qu'alors on parlait toujours de son emploi et qu'on en parla pendant un siècle et demi encore. La machine à vapeur, sous toutes ses formes, était, à cette époque, connue sous le nom de « machine à feu ». Il ne serait pas non plus impossible que les troisième, cinquième et septième titres du brevet, eussent été également des applications de la vapeur.

Thomas Grant en 1632, et Edward Ford en 1640, firent aussi breveter des procédés qui n'ont pas été décrits en détail, pour faire marcher les bâtiments contre vent et marée par le moyen de quelque nouvelle et grande force.

John Wilkins, évêque de Chester, homme instruit, très érudit et fort excentrique, décrivant en 1648 le tournebroche à courant d'air *(smoke-jack)* de Cardan, les premiers éolipyles et la puissance de la vapeur confinée, proposait, sous une forme plaisante, ce qu'il pensait être parfaitement réalisable : la construction d'une machine volante. Il dit : « Est-ce qu'une *haute pression* ne pourrait pas être avantageusement appliquée à faire mouvoir des ailes aussi vastes que celles du « ruck » ou du « chariot? » L'ingénieur trouverait probablement un coin convenable pour établir un dépôt de charbon, près de quelqu'un des « châteaux » (châteaux en l'air)[1]. » Le spirituel prélat proposait aussi d'appliquer le *smoke-jack* à faire jouer les carillons, à dévider le fil et à bercer les enfants.

1. *Castles in the air,* ce qui, en anglais, signifie ce que nous appelons « châteaux en Espagne ». Il y a là une série de jeux de mots intraduisibles, et une obscurité de langage particulière à l'excentrique évêque de Chester. S'agit-il, dans ce qui précède, de l'oiseau Roc dont parle l'Écriture, et de la constellation du Chariot? *(N. du trad.)*

En 1648 encore, cet évêque Wilkins, écrivant sa « Magie mathématique », y parle des éolipyles comme d'organes utiles et bien connus; il les décrit comme formés « de quelque matière qui puisse bien résister au feu, avec un petit trou par où on les remplit d'eau, et hors duquel (quand les vases sont chauffés) l'air s'échappe avec une violence considérable et persistante ». « Ils sont, ajoute l'évêque, fréquemment employés pour aviver et concentrer la chaleur dans la fonte des verres et des métaux. On peut aussi les disposer de façon à en tirer parti pour divers usages plaisants, comme pour faire mouvoir, dans le coin d'une cheminée, des ailettes qui servent ensuite à tourner la broche ou à d'autres usages analogues ».

Dans son « Mundus subterraneus », Kircher donne une gravure représentant cette dernière application de l'éolipyle; et Eckern, dans l'*Aula subterranea* (1672), montre par un dessin la manière dont on peut employer ces machines à faire office de soufflets dans la fonte des minerais. Il semble qu'on les ait fréquemment utilisées dans toutes les parties de l'Europe, pendant le XVIIe siècle, pour souffler le feu dans les maisons ainsi que dans les usines, et pour améliorer le tirage des cheminées. Les inventeurs modernes ont très souvent remis en honneur cette dernière application.

CHAPITRE II

PÉRIODE D'APPLICATION. — WORCESTER, PAPIN ET SAVERY.

Nous touchons à l'époque où, pour la première fois sans doute, la puissance expansive de la vapeur a été utilisée pour produire un travail sérieux.

En 1663, Edward Somerset, second marquis de Worcester, publia une collection curieuse de descriptions de ses inventions, rédigées dans un langage obscur et singulier, sous le titre de : « Une Centurie des noms et échantillons d'inventions par moi déjà pratiquées[1] ».

Une de ces inventions est un appareil destiné à élever l'eau par le moyen de la vapeur. Aucun dessin n'en accompagne la description; mais on pense que très probablement le croquis ci-après (fig. 7) ressemble beaucoup à l'une des premières dispositions que l'auteur avait imaginées.

La vapeur, produite dans la chaudière *a*, se rend de là dans le vase *e*, presque rempli d'eau et disposé comme l'appareil de de Caus. Elle chasse le liquide qui jaillit par le tube *f*. On interrompt alors la communication entre la chaudière et le vase *e*, qu'on remplit de nouveau par le tube *h*, et l'opération recommence. Stuart pense même qu'il est possible que le marquis ait fait une machine à piston, et il en donne le dessin [2]. Les appareils de Porta

1. *A Century of the names and scantlings ofinventions by me already practised.*

2. *Anecdotes of the steam-engine*, t. I, p. 61.

et de de Caus étaient des « fontaines à vapeur » et ne furent probablement appliqués, s'ils l'ont jamais été, qu'à des usages de pur agrément. Celui du marquis de Worcester fut au contraire pratiquement et utilement employé à élever l'eau à Vauxhall, près de Londres.

On ne sait à quelle époque Worcester réalisa pour la

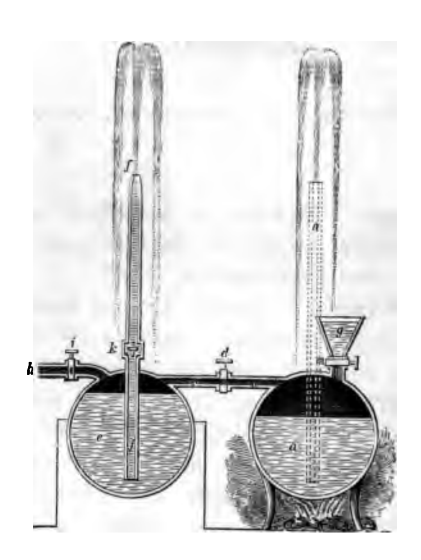


Fig. 7. — Fontaine à vapeur de Worcester, 1650.

première fois son invention à Raglan-Castle; mais ce ne fut probablement pas beaucoup après 1628. En 1647, Dircks nous parle du marquis comme occupé sans doute à se procurer diverses parties de la machine plus récente qui fut élevée à Vauxhall, et achetant ses matériaux à un fondeur en laiton nommé William Lambert. Son brevet fut publié en juin 1663. Nulle part on ne trouve, de cette machine, une description accompagnée de figures, ou même assez complète pour permettre à un ouvrier de la reproduire dans tous ses détails. Heureusement les cavités et rainures (fig. 9) qui existent dans le mur du donjon de Raglan-Castle représentent assez bien les dimensions générales et

la disposition de la machine; et Dircks, biographe de l'inventeur, a proposé la forme d'appareil que montre le croquis (fig. 8) comme s'accordant parfaitement avec les indications fournies par la muraille, et avec celles que donnent les textes.

Les deux récipients A A' sont réunis, par un tube à va-

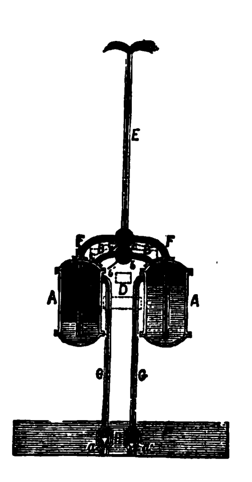


Fig. 8. — Machine de Worcester, 1665.

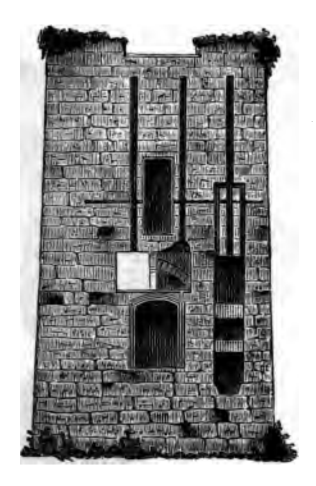


Fig. 9. — Mur de Raglan-Castle.

peur BB', avec la chaudière C placée derrière eux. D est le fourneau. Un tube à eau vertical E communique avec les récipients d'eau froide AA' par les tubes FF', qui descendent presque jusqu'au fond. L'eau est fournie par les tuyaux d'aspiration GG', munis de soupapes *aa'*, qui plongent dans le puits ou fossé H. La vapeur de la chaudière étant lancée alternativement dans chacun des récipients A et A', et s'y condensant, le vide formé permet à la pression atmosphérique de faire monter l'eau du puits par les tubes G et G'. Pendant que l'un des récipients se remplit, la vapeur refoule l'eau contenue dans l'autre jusqu'au sommet du tuyau de décharge E. Aussitôt que l'un est vide, on interrompt l'arrivée de la vapeur dans celui-ci pour l'envoyer dans l'autre; et la condensation du peu de vapeur restée dans le premier lui permet de se remplir de nouveau.

Comme on le verra tout à l'heure, c'est là en substance, et presque exactement, la forme de machine dont l'invention est ordinairement attribuée à Savery, un inventeur venu beaucoup plus tard.

Worcester ne parvint jamais à constituer la grande com-



Fig. 10. — Edward Somerset, second marquis de Worcester.

pagnie par laquelle il espérait voir appliquer son invention sur une échelle proportionnée à son importance. Son destin fut celui de presque tous les inventeurs : il mourut pauvre et sans avoir réussi.

Sa veuve, qui vécut jusqu'en 1681, semble avoir été aussi confiante que Worcester lui-même dans la valeur de ses inventions ; et longtemps après la mort du marquis elle s'efforçait encore de les faire adopter ; mais elle n'eut pas plus de succès que lui. La machine à vapeur pouvait rendre à l'humanité des services inestimables, à une époque où les chevaux étaient le moyen le plus efficace dont

on disposât pour débarrasser d'eau les mines les plus précieuses. Seulement le monde n'était pas encore assez intelligent pour profiter, si grand besoin qu'il en eût, de ce bienfait immense, qu'on le pressait d'accepter avec toute l'ardeur et la persistance qui caractérisent l'inventeur véritable.

Le biographe de Worcester nous en fait le portrait : c'était un homme éclairé, pensif, studieux et bon; catholique romain sans superstition ni préjugés; sujet loyal dégagé de toute intolérance de parti; homme public intègre, honorable et doux; savant instruit sans pédanterie; mécanicien patient, adroit, persévérant, d'un esprit étonnamment ingénieux, doué d'une conception claire et presque intuitive.

Cependant, malgré tous ces avantages naturels, soutenus comme ils le furent par une influence et une richesse immenses dans sa jeunesse, par une situation politique et sociale à peine amoindrie quand il eut dépensé sa grande fortune en expériences, quand le malheur eut abattu son courage et qu'il se trouva sans asile et sans pain, l'inventeur ne parvint pas à faire adopter sa machine, si nécessaire qu'elle fût. Worcester était arrivé à un résultat pratique; mais la période spéculative finissait à peine et celle de l'application de la vapeur n'était pas encore tout à fait arrivée.

Le marquis de Worcester a sa place dans l'histoire, comme étant le premier qui ait construit une machine à vapeur; sa mort termine la première période, celle des tâtonnements spéculatifs.

La « machine commandant l'eau », comme l'appelait le marquis, fut le premier exemple historique d'une machine à vapeur dont l'auteur ait « fait passer son invention dans le domaine de la pratique ».

Il est évident toutefois que, dans l'invention de la chaudière séparée, si importante qu'elle soit, Worcester avait été devancé par Porta, et qu'il n'a pas droit à l'honneur, réclamé pour lui par beaucoup d'écrivains anglais, d'être proclamé l'*inventeur* de la machine à vapeur. Il fut simplement *un* de

ceux dont les travaux ont collectivement contribué à la créer.

Après Worcester, nous entrons dans une période qui mérite, à proprement parler, le nom de période d'application. A partir de ce moment, la vapeur ne cesse pas de jouer un rôle de plus en plus important dans l'économie sociale, et son influence sur le bien-être de l'humanité va croissant toujours avec une rapidité extrême.

La connaissance qu'on avait à cette époque de l'énorme puissance expansive de la vapeur, la confiance que l'homme pouvait arriver à la diriger et à la mettre au service des industries les plus diverses, n'étaient pas évidemment le privilège d'une seule nation. Il est vrai que les distances qui séparent l'Italie de l'Allemagne ou la France de l'Angleterre étaient alors, mesurées en temps, infiniment plus considérables qu'elles ne le sont aujourd'hui que cette fée merveilleuse nous a permis de remplacer les semaines par des heures. Néanmoins il existait déjà un système très parfait de communications entre les différents pays ; la science rayonnait promptement de chaque centre vers tous les autres. Aussi les études spéculatives sur la machine à vapeur se poursuivaient-elles par toute l'Europe ; inventeurs et expérimentateurs se livraient partout à ces recherches, qui promettaient d'être si fécondes.

Jean Hautefeuille, fils d'un boulanger français, né à Orléans et adopté par la duchesse de Bouillon, grâce à l'influence de de Sourdis, sut profiter des chances favorables qui s'offraient à lui, entra dans l'Église, et devint l'un des plus savants hommes et des plus grands mécaniciens de son temps. Il étudia avec le plus vif intérêt les nombreux systèmes alors proposés par les inventeurs et fut lui-même très fécond en idées nouvelles.

En 1678, il proposa d'employer l'alcool dans une machine « de telle manière que le liquide s'évaporât et fût condensé *tour à tour*, sans qu'il s'en perdît »[1]. C'est là sans doute le premier projet comportant l'emploi du condensateur à surface, et visant à la conservation complète du fluide mo-

1. *Anecdotes* de Stuart.

teur, dont le souvenir nous ait été transmis. Jean Hautefeuille proposa également une machine à poudre à canon dont il décrivit trois variétés[1].

Dans une de ces machines, il employait les gaz provenant de l'explosion de la poudre à chasser l'air, et le vide ainsi obtenu était utilisé pour élever l'eau par l'effet de la pression atmosphérique. Dans un second système, les gaz de la poudre agissaient directement sur l'eau pour la forcer à monter; et dans un troisième enfin, ces gaz exerçaient leur pression sur un piston. Cette machine était présentée comme susceptible de fournir de la force pour de nombreux usages. Il n'est pas prouvé toutefois que l'inventeur ait jamais construit ces appareils; et si nous en parlons ici, c'est uniquement pour montrer que la connaissance de tous les éléments commençait à se répandre et qu'un ingénieux mécanicien, en combinant les procédés déjà connus, aurait pu dès cette époque produire la machine à vapeur. On pouvait évidemment prévoir que celle-ci ne tarderait pas à paraître.

Autant qu'on en peut juger par les témoignages recueillis, Hautefeuille fut le premier qui proposa l'emploi d'un piston dans une machine thermique ; et sa machine à poudre à canon semble avoir été la première que les mécaniciens modernes eussent baptisée de ce nom. Les « machines » précédentes, y compris celles de Héron et du marquis de Worcester, mériteraient plutôt le nom d' « appareils », dans le sens où ce terme est employé par les physiciens et les chimistes, que celui de machine tel que le comprennent les ingénieurs.

En 1680, dans un Mémoire présenté à l'Académie des sciences, Huyghens dit que la force expansive de la poudre à canon est susceptible d'être utilisée comme une puissance mécanique commode et portative ; et il fait connaître qu'il a imaginé une machine dans laquelle on pourrait l'appliquer. Cette machine de Huyghens est d'un grand intérêt, non seulement parce qu'elle fut la première machine à gaz

1. *Pendule perpétuelle, avec la manière d'élever l'eau par le moyen de la poudre à canon.* Paris, 1678.

et le prototype de la machine moderne d'Otto et Langen, dont le succès a été complet, mais surtout parce qu'elle a été la première machine composée d'un cylindre et d'un piston. Le croquis ci-dessous (fig. 11) en indique la disposition. Elle consistait en un cylindre A, un piston B, deux tubes de dégagement CC, munis de soupapes, et un système de poulies E, grâce auxquelles le poids pouvait être soulevé. L'explosion de la poudre en H chasse l'air du cylindre. Quand les produits de la combustion se sont refroidis, la pression atmosphérique n'est plus équilibrée par celle de l'air situé au-dessous du piston, et celui-ci s'abaisse en élevant le poids. Ce projet de machine ne fut jamais mis à exécution, quoique le système eût été très capable de fonctionner et peut-être d'une façon avantageuse.

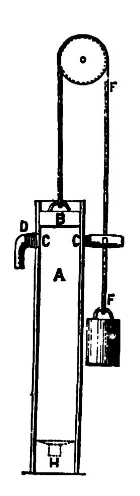


Fig. 11. Machine de Huyghens, 1680.

Vers cette époque, les Anglais arrivèrent, dans l'application pratique des sciences et le développement des arts utiles, à une supériorité sur leurs voisins du continent qu'ils n'ont jamais perdue. Un progrès considérable dans cette voie fut réalisé sous le règne de Charles II, progrès dû pour beaucoup sans doute à l'intérêt que portait ce monarque à un grand nombre des branches de l'industrie et de la science. On dit qu'il était très passionné pour les mathématiques, la physique, la chimie et l'histoire naturelle; qu'il se fit construire un laboratoire où il occupait des savants à faire des expériences et des recherches pour sa propre satisfaction. Il aimait surtout les études et les sciences relatives à l'architecture navale et à la navigation, et s'occupait beaucoup de la détermination des formes les plus avantageuses à donner aux navires et des qualités de bois les plus convenables pour leur construction. Son frère, le duc d'York, partageait son goût pour ces recherches et s'associa souvent à ses travaux.

Si grande que soit aujourd'hui l'influence des souverains sur les goûts et les habitudes d'une nation, sur la

direction imprimée aux études et aux efforts des individus, elle était beaucoup plus considérable encore à cette époque. Et l'on peut bien admettre que les progrès rapides faits plus tard par la Grande-Bretagne furent, dans une grande mesure, la conséquence des habitudes bien connues de Charles II. Il est très admissible que ce peuple, doué d'une aptitude naturelle pour les arts mécaniques, ait été poussé par l'exemple de son roi dans une carrière où il devait conquérir de bonne heure le premier rang dans toutes les branches de la science appliquée.

La place de maître mécanicien sous la haute direction de sir Robert Moray, surintendant du laboratoire royal, fut donnée à sir Samuel Morland, gentilhomme qui, par sa connaissance pratique de la mécanique, son esprit ingénieux et fertile en inventions, semble avoir presque égalé Worcester. C'était le fils d'un clergyman du Berkshire; il fut élevé à Cambridge, s'y intéressa beaucoup à l'étude des mathématiques et entra bientôt après dans la vie publique. Il suivit le parti du Parlement sous Cromwell et émigra ensuite à Genève. Il avait des goûts littéraires très prononcés et écrivit une histoire des Églises de Piémont, qui lui fit, dans le parti protestant, une grande réputation. Il fut amené plus tard, lors de l'avènement de Charles II, à rentrer au service de ce monarque, dont il s'était concilié la faveur en lui révélant un complot formé pour l'assassiner.

Il obtint sa place et la dignité de baronnet en 1660, et se mit immédiatement à faire, partie à ses frais et partie à ceux du trésor royal, des expériences qui, d'habitude, n'étaient nullement rémunératrices. Il construisit différents modèles de pompes à incendie et prit, pour ces machines, des brevets qui lui rapportèrent aussi peu de profit que ses travaux pour le roi. Il inventa le porte-voix, des machines à calculer et un cabestan. Sa maison de Vauxhall était remplie d'appareils curieux, produits de son esprit inventif.

Il consacra de longues études aux machines destinées à élever l'eau. Il paraît s'être beaucoup occupé de modifier la pompe foulante, alors bien connue. Ses expériences attirèrent l'attention, et des expositions en furent faites devant

le roi, la reine et la cour. On envoya l'inventeur en France pour affaires relatives aux ouvrages hydrauliques que le roi Charles faisait établir; et pendant son séjour à Paris il construisit des pompes et des machines d'épuisement pour Louis XIV. Dans son livre[1] publié à Paris en 1683 et offert au roi, ainsi que dans un manuscrit plus ancien[2] conservé encore au *British Museum*, Morland fait preuve d'une connaissance parfaite de la puissance de la vapeur. Il dit dans ce dernier ouvrage : « L'eau étant évaporée par la force du feu, ses vapeurs demandent incontinent un plus grand espace (environ 2,000 fois) que l'eau n'occupait auparavant, et plutôt que d'être toujours emprisonnées, feraient crever une pièce de canon. Mais étant bien gouvernées selon les règles de la statique, et par science réduites à la mesure, au poids et à la balance, alors elles portent paisiblement leurs fardeaux (comme de bons chevaux); et ainsi seraient-elles d'un grand service au genre humain, particulièrement pour l'élévation des eaux, selon la table suivante, qui marque le nombre de livres qui pourront être levées 1,800 fois par heure à 6 pouces de levée, par des cylindres à moitié remplis d'eau, aussi bien que les divers diamètres et profondeurs desdits cylindres. »

Le rapport, donné dans le livre de Morland, du volume de la vapeur produite à celui de l'eau, semble remarquablement exact quand on le compare à ceux indiqués par d'autres anciens expérimentateurs. Desaguliers a donné pour ce rapport le nombre 1,400, qui fut admis pendant bien des années et jusqu'aux expériences de Watt, que le docteur Robison cita comme conduisant à un chiffre compris entre 1,800 et 1,900. Morland calcule aussi le « travail » de ses machines de la même manière que le font les ingénieurs d'aujourd'hui.

1. *Élévation des eaux par toutes sortes de machines, réduite à la mesure, au poids et à la balance*, présentée à Sa Majesté Très Chrétienne par le chevalier Morland, gentilhomme ordinaire de la chambre privée, et maistre des méchaniques du Roy de la Grande-Bretagne, 1683.

2. *Les Principes de la nouvelle force de feu*, inventée par le chevalier Morland, l'an 1682, et présentée à Sa Majesté Très Chrétienne, 1683.

Il est hors de doute que Morland connaissait les travaux de son illustre contemporain, lord Worcester; et son appareil semble avoir été très probablement une modification — peut-être un perfectionnement — de la machine de ce dernier. Il demeurait à Vauxhall et l'établissement organisé pour le roi se trouvait dans le voisinage. Il est possible que Morland ait mieux réussi à faire adopter la machine de son prédécesseur que l'inventeur lui-même.

Le docteur Hutton considérait ce livre de Morland comme le plus ancien ouvrage où soit décrite la machine à vapeur; il accepte la date de 1682 comme celle de l'invention de cette machine, et il ajoute que : « le projet semble être resté ignoré dans les deux pays jusqu'en 1699, lorsque Savery, qui probablement en savait plus long des inventions de Morland qu'il ne voulut l'avouer, prit un brevet, etc. ». Nous n'avons guère toutefois de renseignements plus complets ou plus exacts sur les travaux de Morland et sur leur importance réelle que sur ceux de Worcester. Morland mourut en 1696 à Hammersmith, près de Londres, et ses restes reposent dans l'église de Fulham.

Depuis cette époque, un grand nombre de mécaniciens s'occupèrent sérieusement de la solution de ce problème : élever l'eau à l'aide de la vapeur. Jusque-là, bien qu'on eût imaginé et même parfois construit un grand nombre de jouets ingénieux, où se trouvaient appliqués isolément, et quelquefois, dans une certaine mesure, simultanément, les principes sur lesquels repose la machine à vapeur, le monde n'était encore que tout juste préparé à profiter du travail des inventeurs qui se consacraient à ces études.

Mais, à la fin du XVIIe siècle, les mineurs anglais commençaient à éprouver les plus grandes difficultés à débarrasser leurs puits des énormes quantités d'eau qu'ils rencontraient aux profondeurs considérables que l'on avait atteintes. Il devenait pour eux d'une importance capitale de trouver, pour cette besogne, un auxiliaire plus puissant que ceux dont ils disposaient. Ils étaient donc, par leurs besoins mêmes, poussés à épier attentivement les inventions qui

pouvaient s'offrir à eux et tout disposés à en tirer immédiatement parti.

Les expériences de Papin et l'application, par Savery, de principes déjà connus, mirent entre leurs mains la machine qui leur était nécessaire.

Thomas Savery était d'une famille bien connue du



Fig. 12. — Thomas Savery.

Devonshire, en Angleterre, et naquit à Shilston vers 1650. Il reçut une bonne éducation et devint ingénieur militaire. Il montrait un goût prononcé pour la mécanique, les mathématiques et la philosophie naturelle; il consacrait beaucoup de temps à faire des expériences, à construire et inventer diverses sortes d'appareils. Il fabriqua une horloge, conservée encore dans sa famille, dont la conception mécanique est, dit-on, fort ingénieuse, et l'exécution matérielle excellente.

Il inventa et fit breveter un système de roues à palettes,

mues par un cabestan[1], pour faire avancer les navires par temps de calme. Il essaya pendant quelque temps de faire adopter son invention par l'amirauté anglaise et le ministère de la marine, mais sans succès. Son adversaire le plus déterminé fut l'inspecteur de la marine. Ce fonctionnaire renvoya Savery avec ces paroles, témoignant de sentiments qu'on rencontre aujourd'hui moins fréquemment qu'alors dans les services publics, bien qu'ils n'aient pas encore entièrement disparu : « De quoi donc se mêlent ces intrus, qui n'ont rien à faire avec nous et qui s'avisent de fabriquer ou d'inventer des objets à notre usage[2] ? » Savery adapta alors sa machine à un petit bâtiment qu'il fit fonctionner sur la Tamise. Toutefois l'invention ne fut jamais introduite dans la marine.

Peu après, Savery inventa une machine à vapeur. On ne sait s'il connaissait les travaux de Worcester et des inventeurs précédents. Desaguliers[3] affirme qu'il avait lu le livre de Worcester, et que plus tard il s'efforça de détruire toute preuve qu'il avait été devancé dans son invention par le marquis, en achetant et brûlant tous les exemplaires de la « centurie » qu'il put trouver. Cette histoire n'est guère croyable. Néanmoins, en comparant les dessins donnés pour les deux machines, on y trouve une ressemblance frappante; et en admettant que celui de la machine du marquis soit exact, Savery a eu tout au moins l'honneur de réussir à faire adopter définitivement la machine « demi toute-puissante commandant l'eau », de Worcester.

Le plus important progrès, au point de vue de la construction pratique, est donc dû à Thomas Savery. Il avait remarqué les frais perpétuels et considérables, et les diffi-

1. Harris, *Lexicon technicum*. Londres, 1710.

2. *Navigation improved; or the art of rowing ships of all rates in calms, with a more easy, swift and steady motion, than oars can*, etc., etc. By Thomas Savery, Gent. Londres, 1698.

(La navigation perfectionnée, ou l'art de faire mouvoir les vaisseaux de toutes dimensions par temps de calme, d'une manière plus aisée, plus rapide et plus sûre qu'on ne peut le faire à l'aide de rames, etc.)

3. *Experimental Philosophy* (Physique expérimentale), t. II, p. 465.

cultés mécaniques qu'entraînait l'obligation d'épuiser l'eau des mines anglaises et surtout des puits profonds du comté de Cornouailles ; il savait que toutes les tentatives faites jusque-là pour se procurer des pompes efficaces et économiques avaient constamment échoué ; et, le 25 juillet 1698, il fit breveter les dessihs de la première machine qui ait jamais été réellement employée à ce travail. Il en fut présenté à la Société royale de Londres, en 1699, un modèle susceptible de fonctionner, avec lequel on fit des expériences couronnées d'un plein succès. Savery consacra beaucoup de temps à imaginer sa machine et à la perfectionner, et il assure qu'il y dépensa beaucoup d'argent.

Ayant finalement réussi à se convaincre qu'elle pouvait marcher convenablement, il exposa à Hampton-Court, en 1698, devant le roi Guillaume III et sa cour, un modèle de sa « machine à feu [1] », comme on l'appelait en ce temps-là ; et il obtint immédiatement son brevet. Le titre de ce brevet était ainsi conçu :

« Concession à Thomas Savery, gentilhomme, du monopole d'une nouvelle invention par lui imaginée, pour élever l'eau et mettre en mouvement toutes sortes de manufactures par la force impulsive du feu, qui sera de grand usage pour épuiser les mines, fournir de l'eau aux villes et faire marcher toute espèce de moulins, quand ils n'ont pas l'avantage d'une chute d'eau ni de vents constants ; valable pour quatorze ans ; avec les clauses d'usage. »

Savery s'occupa alors de faire adopter son invention, en employant une méthode qui contraste singulièrement avec celle que suivaient d'ordinaire les inventeurs de cette époque. Il inaugura un système régulier d'annonces qui réussit fort bien, et ne perdit pas une occasion de faire non seulement connaître, mais bien comprendre ses plans, même dans les points de détail. La Société royale était alors complètement organisée, et à l'une de ses séances il obtint la permission de présenter son modèle de « machine à feu »

1. *Fire-engine;* le nom parut d'autant plus singulier aux Anglais que c'est celui qu'ils donnent aux pompes à incendie. *(N. du Trad.)*

et d'en expliquer le fonctionnement; et, comme dit le procès-verbal, « M. Savery divertit la Société en faisant voir sa machine pour élever l'eau par la force du feu. Il fut remercié pour avoir montré cette expérience qui réussit selon son attente et fut approuvée. » Il offrit à la Société un dessin et le devis de sa machine; et les *Transactions*[1] contiennent une gravure sur cuivre (fig. 13) avec la description de son modèle. Il consistait en un fourneau A,

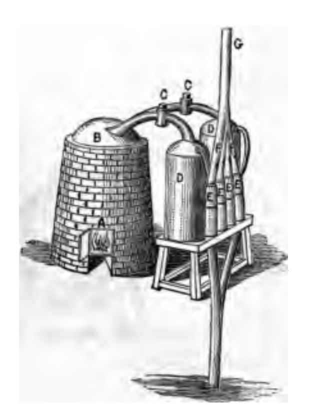


Fig. 13. — Modèle de Savery, 1698.

chauffant une chaudière B réunie par des tubes CC avec deux récipients en cuivre DD. Du fond de ces récipients montaient des tubes FF, qui se réunissaient pour former un tuyau principal d'élévation, ou « tube de refoulement G ». Du sommet de chaque récipient partait un autre tube tourné vers le bas; et ces deux derniers s'unissaient également pour constituer le tuyau d'aspiration, qui plongeait jusqu'au fond du puits ou réservoir dont il s'agissait d'élever l'eau. La hauteur maximum d'élévation admissible était de 24 pieds.

La machine fonctionnait comme il suit : la vapeur est produite dans la chaudière B; en ouvrant le robinet C,

1. *Pilosophical Transactions*, n° 252. — Weld, *Royal Society*, t. I, p. 357. — Lowthorp, *Abridgment*, t. I.

on remplit le récipient D de vapeur; si ensuite on ferme le robinet C, cette vapeur se condense, un vide se forme et la pression atmosphérique fait monter l'eau, par le tube d'aspiration, du puits dans le récipient; le robinet C étant de nouveau ouvert, la soupape du tuyau d'aspiration se ferme, la vapeur pousse l'eau par le tuyau de refoulement G, dont la soupape s'ouvre, et le liquide est chassé par l'extrémité supérieure du tube; le robinet C est fermé de nou-

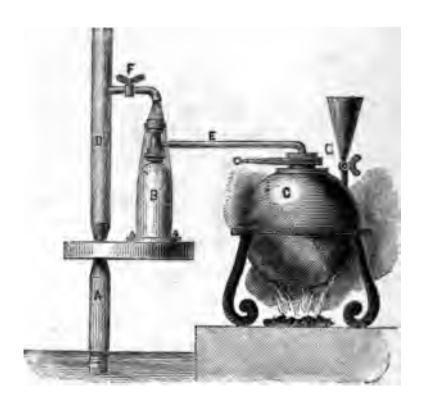


Fig. 14. — Machine de Savery, 1698.

veau; la vapeur se condense encore, et la machine fonctionne comme précédemment. Pendant que l'un des deux récipients se vide, l'autre se remplit, comme dans la machine du marquis de Worcester; la vapeur sort ainsi de la chaudière avec une certaine régularité et l'expulsion de l'eau se fait de même d'une façon uniforme, les deux systèmes de tubes et de récipients fonctionnant alternativement sous l'action de la chaudière unique.

Dans une autre petite machine encore plus simple [1], qu'il établit à Kensington (fig. 14), le même plan général fut adopté. Elle comprenait un tube d'aspiration A, de 16 pieds de long et de 3 pouces de diamètre, un récipient

1. Bradley, *New Improvements of planting and gardening.* — Switzer, *Hydrostatics*, 1729.

unique B, capable de contenir 13 gallons, une chaudière C, d'environ 40 gallons de capacité, un tube de refoulement D, de 42 pieds de haut, avec le tube de communication E et les robinets FG. La machine fonctionnait comme il a été déjà dit, sauf l'addition de la *condensation par surface*, obtenue au moyen du robinet F, disposé pour répandre sur le récipient de l'eau empruntée au tube d'ascension principal, comme le montre la figure. Switzer écrit, en parlant de la première machine : « Je lui ai entendu dire, moi-même, que la première fois qu'elle joua, c'était dans la maison d'un potier à Lambeth ; et quoique ce fût une petite machine, l'eau fut lancée avec tant de force qu'elle traversa le toit, en faisant tomber les tuiles d'une manière qui surprit tous les spectateurs. »

La machine de Kensington coûta 50 livres sterling ; elle élevait 3,000 gallons d'eau par heure, remplissant le récipient quatre fois par minute et brûlant un boisseau de charbon par jour. Switzer remarque : « Il faut observer que cette machine est fort petite, comparativement avec beaucoup d'autres que l'on construit pour les mines de houille ; mais celle-ci suffit pour tous les usages domestiques ordinaires et autres services qu'on peut lui demander pour l'arrosage des jardins de moyenne grandeur ». Il recommande à celui qui s'en sert : « Quand vous avez puisé assez d'eau, et que vous désirez faire cesser le travail de la machine, ôtez le feu de dessous la chaudière et ouvrez le robinet qui communique avec le tuyau de la cheminée pour laisser échapper la vapeur, laquelle, si elle restait enfermée, ferait peut-être éclater la machine. »

Dans le but de faire mieux connaître son invention, et dans l'espoir de la faire adopter comme machine d'épuisement dans les districts miniers du Cornouailles, Savery écrivit et fit répandre partout un prospectus, qui contient la plus ancienne description du dernier modèle auquel il s'arrêta, comme le plus efficace. Il intitula son Mémoire : *L'ami du mineur, ou Description d'une machine pour élever l'eau par le moyen du feu, avec la manière de l'établir dans les mines et une indication des différents usages auxquels elle est*

applicable, ainsi qu'une réponse aux objections élevées contre elle. Cette brochure fut imprimée à Londres en 1702, chez S. Crouch, et distribuée parmi les propriétaires et directeurs de mines, qui trouvaient à certaines profondeurs l'eau en si grande abondance, que parfois elle empêchait de continuer les travaux. Dans bien des cas aussi, les frais d'épuisement absorbaient presque entièrement les bénéfices. Dans une seule mine, on employait 500 chevaux à faire ce travail par la méthode alors en usage des seaux et des manèges.

L'auteur dédia son Mémoire au roi et à la Société royale, qui avaient approuvé ses essais, ainsi qu'aux mineurs anglais, qu'il remerciait du courageux concours qu'ils lui avaient prêté.

La gravure représentant la machine fut reproduite avec sa description dans le *Lexicon Technicum* de Harris, 1704; dans l'*Hydrostatique* de Switzer, 1729, et dans la *Physique expérimentale* de Desaguliers, 1744.

Le croquis ci-dessous (fig. 15) n'est qu'une reproduction un peu plus soignée de cette même gravure; il représente la machine de Savery telle qu'il la décrivit lui-même, en 1702, dans *l'Ami du Mineur (The miner's Friend)*.

LL est la chaudière où se produit la vapeur qui, par les tuyaux OO, est dirigée alternativement dans les récipients PP.

Supposons qu'elle passe d'abord dans celui de gauche. La soupape M étant fermée et *r* étant ouverte, l'eau contenue dans P est chassée du récipient et forcée de monter dans le tube S jusqu'à la hauteur voulue, où elle se déverse.

La soupape *r* est alors fermée ainsi que celle du tube O; la soupape M est ensuite ouverte et l'eau destinée à produire la condensation est répandue sur la surface externe de P par le robinet Y, amenant l'eau du réservoir X. Aussitôt la vapeur de P condensée, il s'y forme un vide, et une nouvelle quantité d'eau, poussée par la pression atmosphérique, monte dans le tube T.

Pendant ce temps, la vapeur de la chaudière a été diri-

gée dans le récipient de droite P, le robinet W ayant été préalablement fermé et R ouvert.

La masse d'eau est chassée par le tube inférieur et le robinet R, jusqu'en haut du tube S comme précédemment,

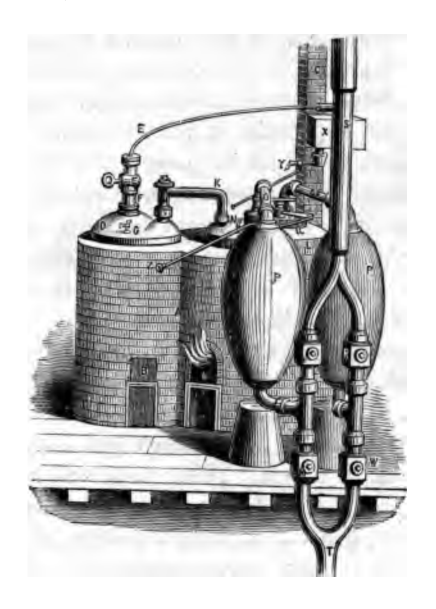


Fig. 15. — Machine de Savery, 1702.

pendant que l'autre récipient se remplit, pour agir à son tour.

Les deux récipients sont ainsi remplis et vidés alternativement aussi longtemps qu'il est nécessaire [1].

La méthode imaginée par Savery pour alimenter d'eau sa chaudière était aussi simple qu'ingénieuse.

La petite chaudière D est remplie d'eau provenant d'une

1. La machine de Savery est reproduite dans ses organes essentiels par une pompe à vapeur toute moderne et qui a eu un grand succès : le *Pulsomètre,* de M. Hall ; le principal perfectionnement consiste en une distribution de vapeur automatique et fort ingénieuse. *(Note du traducteur.)*

source quelconque, comme par exemple du grand tuyau S. On allume alors du feu sous cette chaudière et quand la pression de la vapeur en D est plus grande que dans la chaudière principale L, on fait communiquer leurs parties inférieures et l'eau passe, sous pression, de la plus petite dans la plus grande, qui se trouve ainsi « alimentée » sans interrompre le travail[1]. G et N sont des *robinets de jauge*, qui permettent de déterminer le niveau de l'eau dans les chaudières. Savery est le premier qui les adopta.

Nous trouvons donc ici la première machine à vapeur réellement pratique et possédant une valeur industrielle. C'est à Thomas Savery que revient la gloire d'avoir le premier fait adopter une machine dans laquelle la puissance de la chaleur, agissant par l'intermédiaire de la vapeur d'eau, devenait d'une utilité générale.

On remarquera que Savery, comme le marquis de Worcester, se servait d'une chaudière séparée du réservoir d'eau.

Il ajouta à la « machine commandant l'eau » du marquis le système de la *condensation par surface*, qui lui permettait de faire monter l'eau dans ses récipients dès qu'il devenait nécessaire de les remplir, ainsi que la seconde chaudière, grâce à laquelle il pouvait alimenter celle qui fournissait la vapeur sans interrompre le travail.

La machine devenait ainsi capable de fonctionner d'une manière continue aussi longtemps que ses organes restaient en bon état.

Savery n'a jamais muni ses chaudières de soupapes de sûreté, quoique d'autres l'aient fait plus tard[2]; et pourtant, dans les mines profondes, il était obligé d'employer des pressions supérieures à celles que ces chaudières, grossièrement construites, pouvaient supporter sans danger.

On se servit des machines de Savery dans un certain

1. C'est l'appareil d'alimentation connu aujourd'hui sous le nom de *bouteille alimentaire. (Note du traducteur.)*

2. Il y a sans doute un *lapsus* dans le texte; l'auteur veut certainement dire : *quoique d'autres l'aient fait avant lui,* allusion à la soupape de sûreté inventée par Papin en 1681, c'est-à-dire plus de vingt ans avant la publication de *The miner's Friend. (Note du traducteur.)*

nombre de mines, et aussi pour fournir de l'eau à différentes villes. Quelques grandes propriétés, maisons de campagne et autres établissements privés, en firent également usage dans le même but. Elles ne devinrent pas toutefois d'un emploi général dans les mines, parce que, suivant Desaguliers, on craignait le danger de l'explosion des chaudières ou des récipients. Comme ce savant l'écrivait plus tard : « Savery a fait beaucoup d'expériences pour porter cette machine à la perfection, et il en a construit plusieurs qui élevaient fort bien l'eau dans des résidences seigneuriales ; mais il ne put réussir pour les mines ou pour l'approvisionnement des grandes villes, lorsqu'il fallait élever l'eau à une grande hauteur et en forte quantité ; car, dans ce cas, la vapeur devait être chauffée jusqu'à acquérir une puissance telle qu'elle était prête à faire voler en éclats tous les récipients. » Et ailleurs : « J'ai vu le capitaine Savery faire de la vapeur huit ou dix fois plus puissante que l'air ordinaire ; et alors la température était assez élevée pour fondre la soudure tendre ordinaire, et sa force assez grande pour ouvrir plusieurs des joints de la machine ; si bien qu'il dut se résigner à faire souder tous les joints au zinc ou à la soudure forte. »

Quoiqu'il se présentât d'autres difficultés dans l'application de la machine de Savery à toute sorte de travaux, celle-ci était la plus sérieuse et il se produisit des explosions dont les conséquences furent très graves. L'écrivain cité plus haut rapporte, dans sa *Physique expérimentale*, qu'un homme ne connaissant pas ces machines entreprit d'en faire fonctionner une que lui, Desaguliers, pour éviter ce danger même, avait munie d'une soupape de sûreté ; « et ayant placé le poids tout au bout du bras de levier pour avoir plus de vapeur afin de faire avancer son ouvrage plus vite, il attacha encore un très lourd fer de plombier à l'extrémité de ce même levier : la conséquence fut terrible ; car après quelque temps la vapeur, ne pouvant plus soulever la soupape de sûreté chargée de ce poids extraordinaire, fit éclater la chaudière avec une grande explosion et tua le pauvre homme. » C'est là probablement le

plus ancien récit d'une explosion de chaudière à vapeur que nous possédions.

Savery proposa d'employer sa machine à faire tourner les moulins; mais il n'est pas prouvé qu'il ait effectivement réalisé cette application, quoique d'autres y soient arrivés plus tard. Cette machine ne se prêtait pas bien non plus à l'assèchement des champs, parce que l'élévation d'une grande quantité d'eau, même à une faible hauteur, exigeait une capacité considérable des récipients, ou obligeait de recourir à l'emploi simultané de plusieurs machines. De plus, comme l'eau venait remplir les récipients à chaque opération, il en résultait la perte d'une grande quantité de vapeur, pour réchauffer ces larges surfaces métalliques froides et humides; d'où une consommation relativement énorme de combustible. Enfin, quand on employait ces machines dans les mines, comme il fallait les placer à moins de 30 pieds au-dessus du niveau de l'eau, elles étaient exposées au danger d'être submergées, au cas où, par une cause quelconque, le niveau se serait élevé jusqu'à leur hauteur. Cet accident eût eu le plus souvent pour conséquence la perte de la machine, et la mine serait restée « noyée », à moins de rétablir un autre appareil d'épuisement.

Quand la mine était très profonde, il fallait que la vapeur fît monter l'eau par sa pression, depuis l'endroit où se trouvait la machine jusqu'à la hauteur où elle devait se déverser. D'où la nécessité d'obtenir des pressions de plusieurs atmosphères; et, à cette époque, une pression de 3 atmosphères, ou d'environ 45 livres par pouce carré, était considérée comme le maximum admissible. On obviait à cette difficulté en étageant plusieurs machines à 60 ou 80 pieds d'intervalle, et pompant de l'une à l'autre. Si alors l'une quelconque d'entre elles venait à se détraquer, le travail d'épuisement se trouvait interrompu jusqu'à ce qu'elle fût réparée. La dimension des plus grandes chaudières de Savery n'était pas non plus très considérable, leur diamètre maximum n'excédant pas 2 pieds et demi. Il en résultait qu'il fallait d'ordinaire, pour un

seul puits de mine, installer plusieurs machines à chaque étage. Les frais de premier établissement et les réparations s'élevaient donc à un total extrêmement important. Ces dépenses, jointes au danger, réel ou imaginaire, qu'elles faisaient courir, suffisaient à empêcher bien des gens d'en faire usage; et la vieille méthode de puiser l'eau à l'aide de chevaux continuait d'être en vigueur.

La dépense de combustible de ces machines était aussi très grande. La production de la vapeur était loin d'être économique; car les chaudières dont on se servait ne pouvaient avoir que des formes simples, les seules qu'on sût alors réaliser, et présentaient trop peu de surface de chauffe pour assurer une transmission bien complète de la chaleur à l'eau de la chaudière. A cette perte dans la production de la vapeur s'en ajoutait une autre plus sérieuse encore dans son emploi. Elle agissait sans détente pour chasser l'eau d'un récipient métallique, dont les parois froides et mouillées absorbaient la chaleur avec une très grande avidité. La grande masse du liquide élevé n'était pas toutefois échauffée par la vapeur, et se déversait à peu près à la température qu'elle avait au fond de la mine.

Dans *l'Ami du Mineur*, Savery explique le fonctionnement de sa machine d'une manière originale et avec tant d'exactitude, qu'on ne pourrait guère en donner de meilleure description : « La vapeur agit sur la surface de l'eau dans le récipient, laquelle surface, une fois échauffée par cette vapeur, ne la condense pas; mais la vapeur gravite ou presse comme un fluide élastique, et en augmentant toujours son élasticité ou ressort, jusqu'à ce qu'elle contrebalance, ou plutôt surpasse le poids de la colonne d'eau dans le tuyau de refoulement, colonne qu'elle fera nécessairement alors monter dans ce tuyau ; la vapeur prend ensuite quelque temps pour retrouver sa puissance, mais elle finit en somme par faire sortir l'eau par le haut du tuyau. Vous pouvez suivre du dehors la marche de l'eau dans le récipient, tout comme s'il était transparent; car, dans toute la partie où il contient de la vapeur, il est sec

extérieurement, et tellement chaud qu'on peut à peine le toucher avec la main ; mais au-dessous du niveau de l'eau à l'intérieur les parois sont froides au dehors et mouillées en tous les points qui ont été arrosés d'eau ; ce froid et cette humidité disparaissent à mesure que la vapeur en descendant prend la place de l'eau. »

Après la mort de Savery, en 1716, plusieurs de ces appareils furent établis, et on y apporta quelques perfectionnements. En 1718, le docteur Desaguliers construisit une machine de Savery, dans laquelle il évita divers défauts que le docteur Gravesande et lui avaient remarqués deux ans aupa-

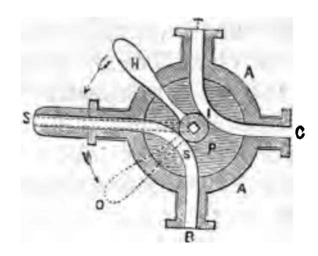


Fig. 16. — Robinet à quatre voies, de Papin.

ravant. Ils avaient alors proposé d'adopter le système d'un récipient unique, déjà employé par Savery lui-même, comme nous l'avons décrit plus haut. Ils avaient trouvé, par une expérience faite sur un modèle construit tout exprès, qu'un seul récipient pouvait être rempli et vidé trois fois, dans le temps qu'avec la même chaudière les deux récipients accouplés ne se vidaient qu'une fois chacun. Dans leur machine, la vapeur s'accumulait dans la chaudière pendant que le récipient se remplissait d'eau, et elle atteignait de la sorte une forte pression, au lieu d'être dirigée dans le second récipient et maintenue ainsi à une pression relativement basse.

Dans la machine construite en 1718, Desaguliers se servit d'une chaudière sphérique, qu'il pourvut de la soupape de sûreté à levier déjà appliquée par Papin ; et il adopta un récipient comparativement petit, — le 1/5ᵉ du

volume de la chaudière, — de forme cylindrique allongée. Il disposa un tube amenant l'eau nécessaire à la condensation dans l'intérieur même de ce récipient, et en assura la distribution par le moyen d'une « pomme d'arrosoir » telle qu'on l'emploie fréquemment encore dans les machines modernes ayant un condenseur à injection. Cette substitution de la condensation par jet à la condensation par

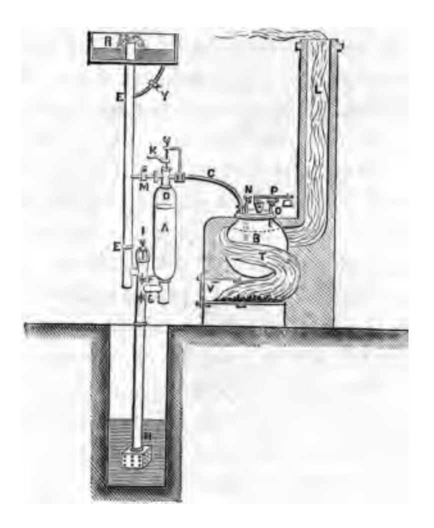


Fig. 17. — Machine construite par Desaguliers, en 1718.

surface avait le très grand avantage de rendre plus prompte la formation du vide et le remplissage du récipient. Un « robinet à quatre voies » (fig. 16) permettait, suivant la position qu'on donnait à la clef, d'envoyer dans le récepteur, soit la vapeur, soit l'eau froide destinée à la condenser. La dispersion de cette eau en minces filets ou gouttelettes était un détail important, non seulement parce qu'elle donnait une condensation très rapide, mais aussi parce qu'elle permettait au constructeur d'employer un récipient ou condenseur relativement petit.

Cette machine est représentée par la figure 17, copiée dans la *Physique expérimentale* de Desaguliers.

Le récipient A est réuni à la chaudière B par un tube à vapeur C, qui se termine au robinet à quatre voies D; une soupape F commande par en bas l'entrée du « tuyau de refoulement E », tandis qu'une autre, G, se trouve au haut du tuyau d'aspiration. H est une crépine destinée à empêcher l'introduction des copeaux ou autres corps étrangers entraînés par le courant. Le tuyau est fermé au-dessus des soupapes par une plaque maintenue au moyen d'un étrier ou bride et d'une vis I, plaque qu'on peut facilement enlever pour nettoyer ou réparer les soupapes. K est la poignée du robinet à quatre voies, M le robinet d'injection tenu toujours ouvert pendant que la machine fonctionne; L est la cheminée; N et O sont des robinets de jauge adaptés à des tubes pénétrant à des profondeurs convenables dans la chaudière, le niveau de l'eau devant se maintenir toujours entre les extrémités inférieures de ces deux tubes. P est une soupape de sûreté à levier, telle que Papin l'employa pour la première fois sur son « digesteur »; R est le réservoir où se rend l'eau pompée; T est le carneau venant du foyer, tournant en hélice autour de la chaudière et conduisant à la cheminée L; Y est un robinet placé sur un tube qui permet d'envoyer de l'eau du réservoir R dans le tuyau de refoulement, pour le cas où l'on aurait besoin d'eau d'injection pendant que ce tuyau est vide.

Il fut construit sept de ces machines, dont la première était destinée au tzar de Russie. La chaudière avait une capacité de « cinq ou six hogsheads[1] », et le récipient « tenant un hogshead », se remplissait et se vidait quatre fois par minute. L'eau était élevée par aspiration à 29 pieds, et refoulée 11 pieds plus haut par la pression de la vapeur.

Une autre machine construite vers cette époque pour élever l'eau à 29 pieds « par aspiration » et la refouler 24 pieds plus haut donnait « 6 coups » par minute, et 8 ou 9 quand elle ne refoulait l'eau qu'à 6 ou 8 pieds. Vingt-cinq ans plus tard, un ouvrier surchargea la sou-

1. Hogshead ou baril, mesure un peu variable, d'environ 240 litres. *(Note du traducteur.)*

pape de sûreté de cette machine, en plaçant le poids à l'extrémité du levier, puis y ajoutant « un très lourd fer de plombier ». La chaudière éclata en tuant celui qui en avait le soin.

Desaguliers dit qu'en 1728 ou 1729 une de ces machines, capable d'élever 10 tonnes à 88 pieds en une heure, coûtait 80 livres sterling (2,000 fr.), non compris les tuyaux.

En 1766, Blakely fit breveter une machine de Savery perfectionnée, dans laquelle il avait cherché à éviter les pertes considérables provenant de la condensation de la vapeur par suite de son contact direct avec l'eau. Pour cela il faisait flotter sur celle-ci un matelas d'huile qui s'interposait entre l'eau et la vapeur. Il utilisa aussi l'air dans le même but, parfois en employant de doubles récipients placés l'un au-dessus de l'autre. Mais ces tentatives ne furent pas couronnées de succès.

Bientôt après, Rigley, de Manchester en Angleterre, construisit des machines Savery et les employa comme moteurs dans les usines. La machine pompait l'eau et l'envoyait dans un réservoir, d'où elle retournait ensuite au puits ou à l'étang qui l'avait fournie, en faisant tourner des roues hydrauliques pendant sa descente.

Une machine ainsi disposée fonctionna pendant bien des années dans l'usine d'un M. Kiers à Saint-Pancrace, faubourg de Londres. Elle est décrite et représentée dans le *Journal de physique* de Nicholson, tome I, p. 419. Elle avait une « chaudière en chariot » (*wagon-boiler*) de 7 pieds de long, 5 de large et 5 de haut. La roue avait 18 pieds de diamètre et donnait le mouvement au tour et autres outils de l'usine. On avait adopté dans cette machine le système d'injection d'eau proposé par Blakely. La soupape d'injection était un clapet qui se fermait automatiquement quand le vide venait à se produire.

La machine consommait 6 ou 7 boisseaux de bon charbon, et battait 10 coups par minute en élevant 70 pieds cubes d'eau à une hauteur de 14 pieds, et développant une puissance de près de 3 chevaux.

Longtemps après la mort de Savery, en 1774, Smeaton fit les premiers essais pour mesurer le rendement des machines de cette espèce. Il trouva qu'une machine ayant un récipient cylindrique de 16 pouces de diamètre et 22 pieds de hauteur, élevant 100 pieds cubes d'eau à 14 pieds de



Fig. 18. — Denis Papin.

hauteur, et battant 12 coups par minute, développait une puissance de 2 2/3[1] chevaux.

Quand Louis XIV révoqua l'édit de Nantes, par lequel Henri IV avait accordé des garanties aux protestants français, les terribles persécutions qui furent la conséquence immédiate de cette mesure chassèrent du royaume quelques-uns de ses plus illustres citoyens. De ce nombre était Denis Papin.

Ce fut environ vers cette époque que l'on commença à remarquer l'influence de la pression atmosphérique sur la

1. D'où l'on déduit pour la valeur du cheval 75 kilogrammètres et demi par seconde. (*Note du traducteur.*)

température d'ébullition. Le docteur Hooke avait trouvé qu'à la pression atmosphérique ordinaire cette température était invariable; et Papin avait fait voir par le moyen de son « digesteur » qu'elle s'accroissait avec la pression de la vapeur, quand celle-ci était renfermée en vases clos.

Denis Papin était d'une famille qui s'était ralliée à l'Église protestante ; mais il avait fait son éducation dans l'école des jésuites de Blois, et c'est là qu'il apprit les mathématiques. Il étudia la médecine à Paris, quoiqu'il ait probablement pris ses grades à Orléans. Il s'établit dans la capitale en 1672, dans l'intention d'y exercer sa profession, et paraît avoir consacré tous ses loisirs à l'étude de la physique.

Dans l'intervalle, le célèbre physicien Huyghens, l'inventeur de l'horloge et de la machine à poudre à canon, cédant aux invitations de l'apprenti drapier Colbert, devenu le conseiller le plus intime du roi, était venu résider à Paris, et avait été nommé, l'un des premiers, membre de l'Académie des sciences, qui fut fondée vers cette époque. Papin fut présenté à Huyghens par Mme Colbert, comme lui native de Blois; il devint l'aide de l'illustre savant et prit part à ses expériences de mécanique. Il imagina alors plusieurs modifications aux instruments d'Otto de Guéricke, et en fit imprimer une description[1]. Ce petit livre fut présenté à l'Académie, et très favorablement reçu. Le nom de Papin commença dès lors à être connu dans le monde savant à Paris, et il eut partout bon accueil. Bientôt après, en 1675, ainsi que le rapporte le *Journal des Savants*, il quitta Paris et alla demeurer en Angleterre, où il ne tarda pas à entrer en relations avcc Robert Boyle, fondateur de la Société royale, et avec les sociétaires. Boyle parle de Papin comme étant allé en Angleterre dans l'espoir d'y trouver une situation où il lui fût aisé de poursuivre ses études favorites.

Boyle s'était lui-même longtemps occupé de l'étude de la pneumatique, et s'était surtout intéressé aux recherches

1. *Nouvelles Expériences du vuide, avec la description des machines qui servent à le faire.* Paris, 1674.

inaugurées par Otto de Guéricke. Il admit le jeune Papin dans son laboratoire, et les deux physiciens étudièrent ensemble ces attrayantes questions. C'est pendant qu'il travaillait avec Boyle que Papin imagina la double pompe pneumatique et le fusil à vent.

Papin et ses travaux avaient acquis alors une telle notoriété, il s'était fait une si haute position dans la science,

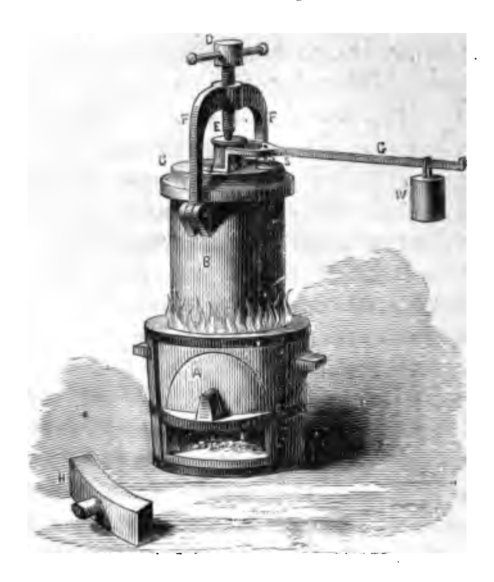


Fig. 19. — Digesteur de Papin, 1680.

qu'il fut proposé aux suffrages de l'Académie des sciences et en fut élu membre le 16 décembre 1680. Il se vit immédiatement rangé parmi les plus savants et les plus distingués des grands hommes de son temps.

C'est probablement pendant son séjour en Angleterre qu'il inventa son « digesteur », et cet appareil fut décrit dans une brochure écrite en anglais, sous le titre *le Nouveau Digesteur*. Elle fut plus tard publiée à Paris[1]. Ce digesteur était un vase B (fig. 19) fermé hermétiquement au

1. *La Manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes*, etc.

moyen d'une vis D et d'un couvercle C, placé sur un fourneau et contenant de l'eau ; on y cuisait les aliments à la température élevée correspondant à la pression de la vapeur, et cette pression était déterminée et limitée par un poids W, agissant sur le levier G de la soupape de sûreté. Il est probable que cet accessoire essentiel de la chaudière à vapeur avait été précédemment employé pour d'autres usages ; mais Papin a eu l'honneur d'être le premier à s'en servir pour régler la pression de la vapeur.

D'Angleterre, Papin se rendit en Italie où il accepta le titre de membre à l'Académie italienne des sciences, et où il prit une haute situation. Il resta deux ans à Venise et revint alors en Angleterre. C'est là qu'en 1687 il fit connaître une de ses inventions, qui est devenue de nos jours d'une grande importance dans les arts mécaniques. Il proposait de transmettre le travail à de grandes distances par la méthode aujourd'hui bien connue sous le nom de méthode « pneumatique ». A l'endroit où une force était disponible, il faisait, au moyen d'une machine pneumatique, le vide dans une vaste chambre, d'où un tube conduisait au point où la force devait être utilisée. Au moyen de ce tube, on pouvait alors retirer l'air de derrière un piston ; et la pression atmosphérique, s'exerçant sur l'autre face de ce dernier, le faisait reculer dans le cylindre où il était adapté, en soulevant un poids proportionné au diamètre du piston et au degré de vide obtenu. Papin ne réussit pas à son gré dans ses expériences ; mais il avait créé le germe du système moderne de transmission pneumatique de la force. Toutefois le mauvais résultat des efforts qu'il fit pour utiliser son système le découragea complètement et il fut pris encore une fois du besoin de changer de position.

En 1687, la chaire de mathématiques de Marburg lui fut offerte par Charles, landgrave de la Haute-Hesse ; il accepta cette situation et se rendit en Allemagne. Il resta plusieurs années dans ce pays, où il continua ses recherches avec une activité toute nouvelle. Ses mémoires furent publiés dans les *Acta eruditorum* à Leipzig, et dans les *Transactions philosophiques* à Londres. C'est pendant qu'il

était à Marburg qu'on imprima la brochure où il décrit sa méthode de transmission pneumatique de la force[1].

Dans les *Acta eruditorum* de 1688, il exposa un projet pratiquement réalisable, consistant à faire mouvoir une série de pompes au moyen du vide produit par une machine pneumatique placée à distance et actionnée par une force motrice qui, au cas actuel, était une roue hydraulique.

Après son arrivée à l'université de Marburg, Papin montra à ses collègues de la faculté une modification de la machine à poudre à canon de Huyghens, où il s'était efforcé d'obtenir un vide plus parfait que celui réalisé par ce savant dans les premières machines de cette espèce. N'ayant pas réussi dans ces recherches, il finit par recourir à l'emploi de la vapeur pour chasser l'air, et produire ensuite par la condensation le vide parfait qu'il désirait. C'est ainsi qu'il produisit *la première machine à vapeur munie d'un piston*, et la première machine à vapeur à piston dans laquelle la condensation fût employée pour produire un vide. Cette machine fut décrite dans les *Acta* de Leipzig[2], en juin 1690, sous le titre de : *Nova Methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas* (Nouvelle Méthode d'obtenir à bon marché des forces motrices très puissantes). Il décrit d'abord la machine à poudre à canon, et continue en disant que jusqu'à présent toutes les tentatives ont échoué, et qu'après la combustion de la poudre qu'on fait détoner, « nonobstant toutes les précautions qu'on y a observées, il est toujours demeuré dans le tuyau environ la cinquième partie de l'air qu'il contient d'ordinaire, ce qui cause deux différents inconvénients : l'un est que l'on perd environ la moitié de la force qu'on devrait avoir ; l'autre inconvénient est qu'à mesure que le piston descend, la force qui le pousse en bas diminue de plus en plus ». Il ajoute qu'il s'est efforcé d'arriver au même but par une autre route ; et « comme l'eau a la propriété, étant par le

1. *Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines et autres sujets philosophiques*, par M. D. Papin. Cassel, 1695.

2. *Acta eruditorum*. Leipzig, 1690.

feu changée en vapeur, de faire ressort comme l'air, et ensuite de se condenser si bien par le froid qu'il ne lui reste plus aucune apparence de cette force de ressort, j'ai cru qu'il ne serait pas difficile de faire des machines dans lesquelles, par le moyen d'une chaleur médiocre et à peu de frais, l'eau ferait ce vide parfait qu'on a inutilement cherché par le moyen de la poudre à canon ».

La première machine de Papin (fig. 20) ressemblait beaucoup à la machine à poudre à canon déjà décrite comme l'invention de Huyghens. Au lieu de poudre, on met une petite quantité d'eau au fond du cylindre A; un feu est allumé au-dessous, le fond étant fait de métal très mince, et la vapeur produite soulève bientôt le piston B jusqu'au point où un loquet E s'engageant dans une encoche que présente la tige H, ce piston reste soulevé jusqu'à ce qu'on désire qu'il retombe. On enlève alors le feu, la vapeur se condense et un vide se forme au-dessous du piston. Celui-ci se trouve alors, dès qu'on retire le loquet E, poussé vers le bas par l'atmosphère qui presse au-dessus, et soulève le poids qu'on a, dans l'intervalle, attaché à une corde L fixée à sa tige et passant sur deux poulies TT. La machine avait un cylindre de deux pouces et demi de diamètre, et soulevait soixante livres une fois par minute. Papin calculait qu'une machine ayant un piston d'un peu plus de deux pieds de diamètre et quatre pieds de course soulèverait huit mille livres à une hauteur de quatre pieds dans une minute, c'est-à-dire aurait à peu près une puissance d'un cheval.

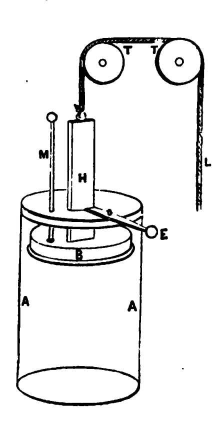


Fig. 20. — Machine de Papin.

L'inventeur assurait que cette nouvelle machine serait utile pour épuiser les mines, jeter des bombes et faire marcher les navires, en attachant sur leurs flancs des palettes tournantes, c'est-à-dire des roues à aubes; lesquelles roues seraient mues par plusieurs de ces machines, afin

d'assurer la continuité du mouvement, les tiges de piston étant munies de crémaillères qui devaient s'engrener avec des roues dentées portées par les arbres de pale.

« La principale difficulté, dit-il, répondant aux objections qu'il prévoit, c'est de construire ces grands cylindres. »

Dans une description de son invention, réimprimée en 1695, Papin décrit un fourneau nouvellement inventé, une espèce de chaudière à foyer intérieur, produisant de la vapeur assez rapidement pour faire marcher sa machine à raison de quatre coups de piston par minute.

Papin imagina aussi d'employer avec cette machine un fourneau d'une forme particulière, qui mérite une mention spéciale ; car on y trouve la réalisation de plusieurs idées, attribuées depuis, très probablement, à des inventeurs plus modernes. Dans ce fourneau, Papin proposait de brûler son combustible sur une grille disposée à l'intérieur, de façon à *renverser la flamme*, l'air arrivant au-dessus de la grille, la traversant *de haut en bas* et se rendant du cendrier dans la cheminée par un carneau latéral. Pour allumer le fourneau, on plaçait le charbon sur la grille et on le couvrait avec du bois auquel on mettait le feu ; la flamme descendant à travers le charbon l'embrasait à son tour et, comme le prétendait Papin, la combustion était complète et la formation de fumée entièrement empêchée. Il assure dans les *Acta eruditorum* que la chaleur produite était intense, l'économie de combustible très considérable, et que la seule difficulté était de trouver une substance assez réfractaire pour supporter la haute température qu'on atteignait.

C'est là la première boîte à feu et la première chaudière à carneaux dont l'histoire fasse mention. On suppose que cette expérience conduisit Papin à proposer l'emploi du soufflage à l'air chaud, tel qu'il fut appliqué plus d'un siècle après par Neilson pour la réduction des minerais.

Papin fit une autre chaudière munie d'un carneau qui traversait en se contournant tout l'espace occupé par l'eau. Cette chaudière présentait une surface de chauffe de près de 80 pieds carrés. Le carneau avait 24 pieds de long et

environ 10 pouces carrés de section. On ne dit pas quelle était la pression maximum obtenue dans ces chaudières; mais on sait que Papin avait employé de très fortes pressions dans ses digesteurs, probablement de 1,200 à 1,500 livres par pouce carré.

En 1705, Leibnitz, qui visitait alors l'Angleterre, avait vu une machine de Savery, et à son retour il la décrivit à Papin en lui en envoyant un croquis. Papin lut la lettre et fit voir le croquis au landgrave Charles de Hesse, qui

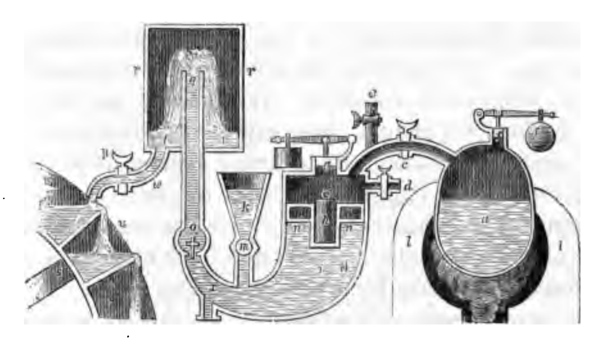


Fig. 21. — Machine et roue hydraulique de Papin, 1707.

le pressa vivement d'essayer de perfectionner sa propre machine, et de continuer les recherches dont il s'était occupé par intervalles depuis l'exposition publique de son premier appareil.

Dans une petite brochure imprimée à Cassel en 1707[1], Papin décrit une nouvelle forme de machine dans laquelle, abandonnant l'idée primitive de perfectionner l'appareil de Huyghens à cylindre et piston ajusté soulevant un poids par action indirecte, il indique une modification du système de Savery, qu'il appelle « machine de l'Électeur », en l'honneur de son patron. C'est cette machine que nous figurons ci-dessus (fig. 21), telle qu'il proposait de l'employer pour faire tourner une roue hydraulique.

Ce croquis est la reproduction de celui que l'inventeur

1. *Nouvelle Manière d'élever l'eau par la force du feu, mise en lumière*, par D. Papin. Cassel, 1707.

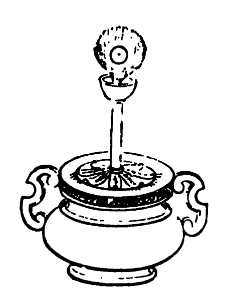
avait joint à son mémoire. Il représente une chaudière *a* d'où la vapeur se rend, par le robinet *c*, dans le cylindre *n* où elle doit agir. Le piston flottant *h*, qui fait simplement office de matelas pour empêcher la condensation brusque de la vapeur par son contact avec l'eau, refoule celle-ci dans le récipient *rr*, formant ainsi une sorte de chambre à air et servant à rendre l'écoulement de l'eau sensiblement uniforme.

Cet écoulement se fait par le moyen du tube *g* qui l'élève à la hauteur voulue. Une nouvelle quantité d'eau est introduite par l'entonnoir *k*, après la condensation de la vapeur en *n*, et l'opération du refoulement recommence.

Cette disposition constitue évidemment un pas en arrière. Après s'être acquis l'honneur d'avoir imaginé la première machine à vapeur de la forme type universellement appliquée depuis, Papin compromit sa gloire en montrant qu'il ignorait lui-même la supériorité de son système sur ceux qui existaient alors, et en cherchant vainement à perfectionner l'invention bien inférieure d'un autre.

Plus tard il essaya d'appliquer la machine à vapeur à la propulsion des vaisseaux ; nous reparlerons de cette tentative au chapitre de la navigation à vapeur.

Déçu encore une fois dans ses espérances, Papin retourna en Angleterre pour renouveler connaissance avec les *savants* de la Société royale ; mais Boyle était mort pendant son séjour en Allemagne, et le malheureux inventeur découragé mourut en 1710, sans avoir vu pratiquement réussir une seule des nombreuses et ingénieuses machines qu'il avait imaginées.



LIVRE II

LA MACHINE A VAPEUR A L'ÉTAT DE MACHINE COMPOSÉE

> Doter le monde d'une invention nouvelle semble être vraiment la plus belle action qu'un homme puisse accomplir. Toute nouvelle invention peut devenir un bienfait pour l'humanité tout entière, tandis que les œuvres de la politique ne font de bien qu'aux individus do quelques pays. La durée de celles-ci ne dépasse pas quelques siècles, les autres sont éternelles. Les inventions font le bonheur de tous, sans causer de peine ou nuire à qui que ce soit. Enfin, produire une invention nouvelle, c'est créer pour ainsi dire, à l'imitation de Dieu même. (BACON.)

CONSTITUTION PROGRESSIVE DU TYPE MODERNE PAR NEWCOMEN, BEIGHTON ET SMEATON.

Au commencement du XVIII[e] siècle, tous les éléments du type moderne de la machine à vapeur avaient été séparément inventés et pratiquement appliqués. On était arrivé à comprendre la nature de la pression atmosphérique et de la pression des gaz. On se faisait une idée claire du vide, et des moyens de l'obtenir en expulsant l'air au moyen de la vapeur que l'on condensait ensuite. Non seulement on avait reconnu quel parti utile on pouvait tirer de la puissance de la vapeur et de sa condensation pour annuler la pression de l'air dans un espace clos, mais des tentatives heureuses avaient été faites par Morland, Papin et Savery pour appliquer ces notions.

Les mécaniciens avaient réussi à fabriquer des chaudières capables de supporter les plus fortes pressions qu'on pouvait juger nécessaires, et Papin avait indiqué le moyen de se garantir suffisamment des explosions par l'emploi de sa soupape de sûreté. On avait fabriqué des cylindres munis de pistons et on s'en était servi pour faire agir la puissance de la vapeur.

Il ne restait plus maintenant à l'ingénieur qu'à réunir tous ces organes mécaniques en une machine pratique, capable d'utiliser d'une façon économique et commode la force de la vapeur, en appliquant ces principes dès lors bien compris, et combinant avec intelligence des phénomènes physiques déjà familiers aux savants.

On avait étudié tous les faits et toutes les données essentielles; on était parvenu à réaliser tous les arrangements mécaniques indispensables. Il ne fallait plus que l'apparition d'un inventeur capable d'apercevoir que ces faits et ces organes mécaniques connus, convenablement mis en œuvre dans une machine, pouvaient doter le monde du plus grand bienfait qu'il ait jamais reçu dans l'ordre physique.

Nous avons fait voir, en les décrivant, les défauts des machines simples construites jusqu'alors. Pas une sur laquelle on pût compter pour un travail continu, économique, pas une qui présentât une sécurité suffisante. Celle de Savery était, de toutes, la mieux réussie. Mais cette machine, même après les perfectionnements de Desaguliers, était dangereuse là précisément où elle était le plus nécessaire, à cause des hautes pressions qu'il fallait imposer à ses chaudières quand elle devait puiser l'eau à de grandes profondeurs. Elle n'était pas économique, par suite des grandes pertes de chaleur qui se produisaient dans ses cylindres de refoulement, quand la vapeur, y pénétrant à une haute température, s'y trouvait en contact avec des corps plus froids ; elle fonctionnait lentement ; les frais d'installation et d'entretien n'étaient pas moins considérables que le prix de revient du travail courant. Enfin on ne pouvait compter sur cette machine pour un travail longtemps soutenu, de sorte qu'elle était sous bien des rapports fort peu satisfaisante.

Ce fut Thomas Newcomen, « quincaillier » et forgeron à Dartmouth en Angleterre, qui parvint à combiner définitivement les éléments de la machine à vapeur moderne et à produire quelque chose de vraiment digne de ce nom, c'est-à-dire un appareil composé d'une chaîne d'organes élémentaires, reliés entre eux, et permettant de transmettre

une force appliquée à l'une de ses extrémités jusqu'à la résistance qu'il s'agissait de vaincre à l'autre bout. La machine qu'il inventa, et qui est connue sous le nom de « machine à vapeur atmosphérique », fut le premier spécimen d'un type entièrement nouveau.

Les améliorations successives apportées par Worcester, Savery et Desaguliers à l'ancien type de machine simple, l'avaient amené au plus haut degré de perfection qu'il fût probablement capable d'atteindre par des modifications de détail. Aucun progrès nouveau ne pouvait être réalisé que par un changement complet de type, et pour cela il suffisait de combiner ensemble des procédés connus déjà et essayés avec succès.

On sait peu de chose de l'histoire personnelle de Newcomen. Sa position sociale était peu relevée, et dans ce temps un inventeur n'était pas même considéré comme un individu pouvant être utile à la société. On le regardait simplement comme un membre de la classe excentrique des faiseurs de projets, et la catégorie de ceux qui s'occupaient de questions mécaniques était mise au dernier rang de cette classe peu estimée.

On suppose que Newcomen connaissait parfaitement la machine de Savery et qu'il avait probablement rendu visite à celui-ci dans sa maison de Modbury, dont il ne demeurait qu'à trois ou quatre lieues. Quelques biographes de ces inventeurs ont pensé que Newcomen fut employé par Savery à forger les pièces les plus compliquées de sa machine. Dans son *Lexicon technicum*, Harris affirme que les dessins de la machine de Savery tombèrent entre les mains de Newcomen, qui s'en servit pour construire un modèle, le fit fonctionner dans son jardin et essaya de le perfectionner. Mais Switzer dit que Newcomen « fut aussi original dans son invention que Savery dans la sienne ».

Newcomen était assisté dans ses expériences par John Cawley, qui prit le brevet avec lui. On a prétendu que leur attention avait été pour la première fois appelée sur ce sujet lors d'un voyage dans le Cornouailles, où ils virent fonctionner une machine de Savery; pourtant un ami de ce

dernier témoigne lui-même que la conception générale de Newcomen était aussi ancienne que celle de Savery.

Après avoir débattu la question avec Cawley, Newcomen écrivit au docteur Hooke, lui proposant une machine à vapeur qui devait consister en *un cylindre analogue à celui des machines de Papin, et faire marcher une pompe séparée,* semblable à celles dont on se servait généralement quand on élevait l'eau avec des machines mues par le vent ou par des chevaux. Le docteur Hooke combattit énergiquement le projet des inventeurs et s'efforça de les en détourner; heureusement la foi opiniâtre de ces artisans sans instruction ne céda pas devant les dissertations savantes de leur illustre correspondant : Newcomen et Cawley essayèrent de construire une machine d'après le plan qu'ils avaient conçu. Leur succès fut assez complet pour les engager à continuer leurs études et à prendre en 1705, de concert avec Savery, — qui était en possesssion du droit exclusif d'appliquer la condensation par surface, et qui les amena à lui accorder un intérêt dans leur affaire, — un brevet[1] pour une machine fondée sur la combinaison simultanée du cylindre à vapeur et du piston, avec la condensation par surface, l'emploi d'une chaudière et d'une pompe séparées.

Dans la machine atmosphérique, telle qu'elle était organisée au début, la lenteur avec laquelle s'opérait, par application d'eau froide à l'extérieur du cylindre, la condensation destinée à produire le vide, avait pour conséquence de longs intervalles entre les coups successifs du piston; mais un perfectionnement fut bientôt introduit, qui rendit la condensation infiniment plus rapide. Un jet d'eau fut lancé directement *dans* le cylindre, réalisant ainsi pour la machine de Newcomen ce que Desaguliers avait fait précédemment pour celle de Savery. C'est avec ce perfectionnement que la machine est représentée dans la figure 22.

La vapeur se rend de la chaudière *b* par le robinet *d* dans le cylindre *a*, faisant équilibre à la pression

1. On a nié qu'un brevet ait été accordé, mais il est hors de doute que Savery réclama et obtint un intérêt dans la nouvelle machine.

atmosphérique, et permettant ainsi la chute de la lourde tige de pompe *k*, dont le poids, agissant par l'intermédiaire du balancier *ii*, soulève le piston *s* au haut de sa course. On suspend à la tige *m* un contrepoids si c'est nécessaire. Le robinet *d* étant alors fermé, on ouvre *f*, et un jet d'eau provenant du réservoir *g* s'élance dans le cylindre, où il condense la vapeur et produit un vide. La pression que l'air exerce au-dessus du piston le force alors à descendre, et par

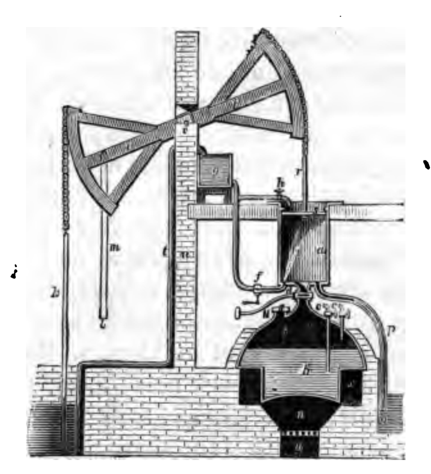


Fig. 22. — Machine de Newcomen, 1705.

là même à soulever la tige de la pompe. La machine continue ainsi à travailler indéfiniment.

Le tube *h* sert à maintenir une légère couche d'eau sur la partie supérieure du piston pour empêcher les fuites. C'était une méthode imaginée par Newcomen. Deux robinets de jauge *cc* et une soupape de sûreté N sont représentés sur la figure ; mais on remarquera que cette dernière diffère entièrement comme forme de celles en usage aujourd'hui : dans ces machines, la pression employée était à peine supérieure à celle de l'atmosphère, et le poids de la soupape elle-même suffisait ordinairement à la tenir fermée. L'eau destinée à produire la condensation s'écoulait, en même temps que celle provenant de la vapeur condensée, par le tube ouvert *p*.

Dans la première machine de Newcomen, on n'obtenait que 6 ou 8 coups de piston par minute; dans les dernières, plus perfectionnées, ce nombre s'élevait jusqu'à 10 ou 12.

La machine à vapeur a maintenant pris une forme qui ressemble quelque peu à celle qu'elle doit conserver pendant la période moderne.

On voit d'un coup d'œil que la machine de Newcomen a été le produit d'une combinaison d'idées plus anciennes. C'est la machine d'Huyghens, avec son cylindre et son piston, que Papin avait perfectionnée en substituant la vapeur aux gaz produits par l'explosion de la poudre à canon, que Newcomen et Cawley avaient perfectionnée plus encore en y ajoutant le mode de condensation employé dans celle de Savery, et qui reçut enfin une dernière modification par l'introduction du balancier placé au-dessus, pour permettre de l'appliquer directement à faire mouvoir les pompes des mines : le piston était suspendu à l'une des extrémités de ce balancier; la tige de la pompe, à l'autre.

Les avantages obtenus par cette combinaison d'inventions diverses étaient nombreux et manifestes. Non seulement le piston produisait une économie de vapeur par son interposition entre l'air et l'eau froide, mais comme on pouvait en augmenter la surface à volonté, il devenait loisible à Newcomen d'employer telle pression qui lui convenait et de donner à sa machine des dimensions en rapport avec le travail qu'il s'agissait d'exécuter. Retirer l'eau froide de l'intérieur du cylindre et la puiser avec une pompe spéciale, c'était évidemment réaliser une très grande économie de vapeur.

Cette disposition offrait aussi l'avantage qu'on pouvait faire succéder rapidement l'une à l'autre la condensation et l'admission de vapeur. Enfin l'inventeur était entièrement libre dans le choix des moyens d'obtenir une prompte condensation.

Dans son récit des origines de la machine de Newcomen, Desaguliers dit que lui et son aide Cawley « firent plusieurs expériences, en particulier vers l'année 1710, et que, dans la dernière moitié de 1711, ils offrirent d'épuiser

l'eau d'une houillère à Griff, dans le Warwickshire, où les propriétaires employaient 500 chevaux qui leur coûtaient 900 liv. sterl. par an. Mais leur invention n'ayant pas rencontré l'accueil qu'ils espéraient, au mois de mars suivant, par l'intermédiaire de M. Potter de Bromsgrove dans le Worcestershire, ils traitèrent avec M. Back de Wolverhampton pour des épuisements ; et, après beaucoup de pénibles essais, ils parvinrent à faire fonctionner leur machine. Toutefois, n'étant ni assez physiciens pour comprendre les principes, ni assez mathématiciens pour calculer la force et les proportions des divers éléments, ce fut très heureusement, et par hasard, qu'ils trouvèrent ce qu'ils cherchaient.

« Ils étaient très embarrassés à propos des pompes; mais, étant si près de Birmingham et disposant de l'aide de tant d'admirables et ingénieux ouvriers, ils finirent par trouver, vers 1712, la vraie méthode pour faire les soupapes, les clapets et les pistons, organes sur lesquels ils n'avaient que des notions fort imparfaites. Une chose est très digne de remarque ; dans les premiers temps, comme ils étaient un jour à faire marcher leur machine, ils furent surpris de voir la marche du piston s'accélérer tout à coup ; après avoir bien cherché, ils s'aperçurent que ce piston avait un trou par où passait l'eau froide, qui venait condenser la vapeur à l'intérieur du cylindre, tandis qu'auparavant ils avaient toujours opéré la condensation par l'extérieur. Ils se servaient d'abord, pour faire marcher la machine, d'une sorte de bouée ou flotteur enfermé dans un tube ; lorsque la pression devenait suffisante, ce flotteur se soulevait, ouvrait le robinet d'injection et déterminait ainsi le départ du piston. Par ce moyen, ils ne pouvaient obtenir que 6, 8 ou 10 coups par minute ; en 1713, un jeune garçon nommé Humphrey Potter, chargé du soin de la machine, y ajouta ce qu'il appelait un *scoggan*[1] ou déclic, manœuvré par le balancier lui-même, ce qui permettait de donner

1. Ce mot fait allusion à une expression populaire du comté d'York, qui signifie : *un paresseux*. (*Note du traducteur.*)

15 ou 16 coups de piston par minute. M. Henry Beighton rejeta ce système compliqué de ficelles et déclics, et, dans une machine qu'il construisit en 1718 à Newcasle-sur-Tyne, il ne conserva que le balancier, avec une distribution mieux entendue. »

Pour faire comprendre l'application de la machine de Newcomen à l'épuisement des mines, Farey décrit une petite machine dont la pompe avait 8 pouces de diamètre. Il fallait élever l'eau à 162 pieds, et la colonne de liquide à soulever pesait ainsi 3,535 livres. Le piston à vapeur avait 2 pieds de diamètre, ce qui donnait une surface de 452 pouces carrés. La pression effective qui faisait travailler la machine était évaluée à 10 livres 3/4 par pouce carré, la température de l'eau de condensation et de la vapeur non-condensée après l'entrée de l'eau d'injection étant habituellement de 150° Fahrenheit[1]; la résultante des pressions du côté du piston à vapeur était donc de 4,859 livres, dépassant de 1,324 livres la résistance à vaincre à l'autre bout du balancier. Une moitié de cet excédant était contre-balancée par le poids des tiges de pompe et des charges additionnelles; le surplus, soit 662 livres, imprimait aux mouvements la rapidité nécessaire. Le piston battait, dit-on, quinze coups par minute, parcourant ainsi 75 pieds dans ce laps de temps; et la force utilisée équivalait au soulèvement de 265,125 livres d'eau à un pied de hauteur par minute. Comme le cheval-vapeur équivaut à 33,000 « livres-pieds » par minute[2], la machine était d'une force de $\frac{265,125}{33,000} = 8,034$, ou presque exactement 8 chevaux.

Il est instructif de comparer cette évaluation avec celle calculée pour une machine de Savery faisant le même ouvrage. Cette dernière aurait élevé l'eau à 26 pieds environ dans son « tube d'aspiration », et l'eût ensuite refoulée par la pression directe de la vapeur pour les 136 pieds restants.

1. Soit 65° centigrades environ.
2. Soit environ 75 kilogrammètres par seconde. (*Note du traducteur.*)

La pression de vapeur exigée eût été de près de 60 livres par pouce carré. Avec une pression et une température aussi élevées, la perte de vapeur par condensation dans les récipients eût été tellement grande qu'on se fût vu obligé d'adopter deux machines de dimensions considérables,

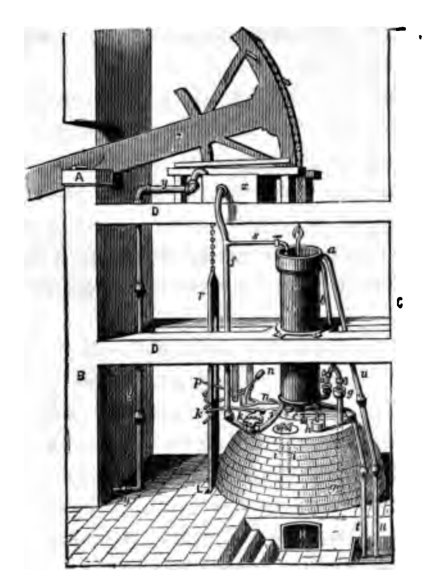


Fig. 23. — Appareil distributeur de Beighton, 1718.

chacune élevant l'eau à la moitié de la hauteur, et employant de la vapeur à la pression d'environ 25 livres.

Le grossier dispositif, imaginé par Potter pour manœuvrer les soupapes, fut bientôt perfectionné par Henry Beighton, dans une machine que cet habile ingénieur établit à Newcastle-sur-Tyne, en 1718, et dans laquelle il substitua aux cordeaux des matériaux plus solides, comme on le voit dans la figure 23.

Dans ce dessin, la pièce *r* est l'organe qu'on appelle des différents noms de poutrelle, tige ou cadre à chevilles[1].

1. En anglais : *plug-tree, plug-rod, plug-frame*. Ces noms se rencontrent assez souvent dans les textes français. *(N. du trad.)*

Cette tige, suspendue au balancier, avec lequel elle s'élève et s'abaisse, amène, au moment voulu, les chevilles *p* et *k* en contact avec les poignées *kk* et *nn* des robinets ou soupapes, les faisant mouvoir ainsi dans le sens et de la quantité convenables. Une soupape de sûreté à levier fut ajoutée à cette machine, sur la proposition, dit-on, de Desaguliers. Le piston était muni d'une garniture en cuir ou en corde et graissé avec du suif.

Après la mort de Beighton, la machine atmosphérique de Newcomen conserva sa forme typique pendant bien des années. L'usage s'en répandit beaucoup dans tous les districts miniers, principalement dans le Cornouailles; elle fut aussi employée de temps à autre pour l'assèchement des terrains humides, pour fournir de l'eau à certaines villes, et Hulls proposa même de s'en servir pour la propulsion des navires.

Mais les proportions de ces machines avaient été fixées tout à fait au hasard, et dans bien des cas elles étaient d'un emploi très dangereux. John Smeaton, l'ingénieur le plus distingué de son temps, en détermina finalement par l'expérience, en 1769, les proportions convenables, et construisit plusieurs machines de grandes dimensions. Il donna aux cylindres, et par suite à la course du piston, une longueur plus grande qu'on ne l'avait fait jusqu'à lui, et calcula les dimensions de manière à augmenter l'excès de la puissance sur la résistance et, par conséquent, la vitesse de marche. La première machine de ce nouveau modèle fut établie à Long-Benton, près de Newcastle-sur-Tyne, en 1774.

La planche II[1] en indique les principaux traits caractéristiques. La chaudière n'est pas représentée.

La vapeur arrive à la machine par le tuyau C; l'admission est réglée par la manœuvre du robinet qui se trouve dans le récipient D. Celui-ci communique avec le cylindre F par le tube E, lequel s'élève un peu au-dessus du fond de

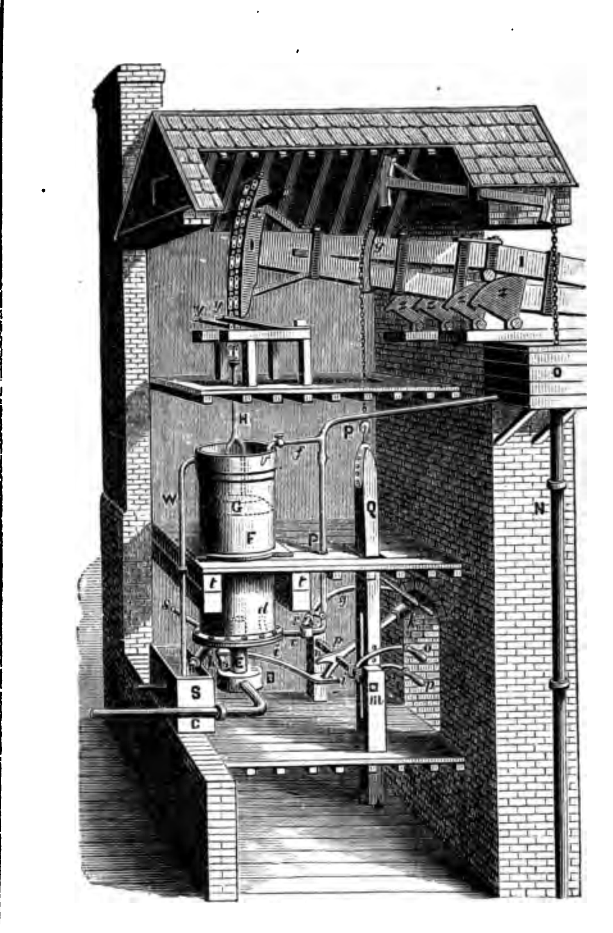
1. Fac-simile d'un dessin qui se trouve dans l'ouvrage de Galloway : *On the Steam-engine*, etc.

ce cylindre, afin d'éviter l'introduction de l'eau d'injection dans le tube à vapeur et le récipient.

Le cylindre, dont la longueur est d'environ 10 pieds, est muni d'un piston G, soigneusement travaillé ; ce piston présente sur tout son pourtour un rebord de 4 ou 5 pouces de haut, presque en contact avec la surface intérieure du cylindre. Entre celle-ci et le rebord est introduite et serrée une « garniture » d'étoupes maintenue en place par des poids ; cette précaution empêche les fuites d'air, d'eau ou de vapeur qui pourraient se produire autour du piston pendant son mouvement de va-et-vient dans le cylindre. Le piston est relié par sa tige et une chaîne au balancier II. Les pièces de bois cintrées qui terminent celui-ci à ses deux extrémités servent à maintenir la tige du piston et les tiges des pompes, rectilignes et verticales.

Une pompe auxiliaire N, actionnée par un petit balancier, qui prend lui-même son mouvement sur la poutrelle en *g*, puise l'eau nécessaire à la condensation de la vapeur et alimente le réservoir O. Ce réservoir est assez élevé pour assurer une prompte condensation. Un tuyau de décharge enlève tout excédent de liquide. L'eau d'injection vient du réservoir par le tube PP, qui a 2 ou 3 pouces de diamètre, et l'écoulement en est réglé par le robinet d'injection *r*. Ce tube d'injection se termine en *d* par une plaque percée de plusieurs petits trous, et l'eau, pénétrant ainsi en minces filets, qui viennent frapper la face inférieure du piston, se mélange intimement avec la vapeur, qu'elle condense très-rapidement en produisant un vide au-dessous du piston. La soupape *e*, au haut du tuyau d'injection, est une soupape de retenue destinée à empêcher l'écoulement de l'eau du réservoir dans la machine quand celle-ci ne fonctionne pas. Le petit tube *f* amène de l'eau sur la face supérieure du piston, pour y maintenir une couche de liquide empêchant l'entrée de l'air, quand la garniture ne ferme pas hermétiquement.

La poutrelle ou tige à chevilles, Q, est une pièce de bois présentant une fente verticale et portant des chevilles, qui s'engagent dans les poignées des robinets,



Machine de Newcomen construite par Smeaton.



par la vapeur dans la chaudière était égal à 8 ou 10 fois la capacité du cylindre. Même au temps de Smeaton, la cheminée n'était pas pourvue de registre, et la quantité de vapeur fournie était par conséquent très-variable. Dans les premières machines, le cylindre était placé sur la chaudière; plus tard on l'installa séparément sur une solide fondation en maçonnerie. Le réservoir pour l'eau d'injection était situé de 12 à 30 pieds au-dessus de la machine; la vitesse ainsi donnée à l'eau injectée en assurait mieux

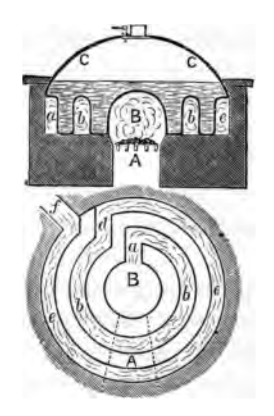


Fig. 24. — Chaudière de la machine de Newcomen, 1763.

la distribution et permettait d'obtenir une condensation très rapide.

Smeaton recouvrait la face inférieure de ses pistons d'une plaque de bois d'environ 2 1/4 pouces d'épaisseur, afin de diminuer l'absorption et la perte de chaleur occasionnée par le contact direct de la vapeur et du fer. Beigthon eut le premier l'idée d'employer l'eau de condensation pour alimenter la chaudière en la prenant directement du tuyau d'abduction ou du réservoir d'eau chaude. Lorsqu'on ne pouvait se procurer que bien juste la quantité d'eau pure nécessaire pour alimenter la chaudière, et que l'eau d'injection était « dure », Smeaton employait un réchauffeur immergé dans le réservoir d'eau chaude et par lequel passait l'eau d'alimentation, qui absorbait ainsi, dans son trajet

pour se rendre à la chaudière, la chaleur de l'eau de condensation. Farey proposa le premier l'emploi d'un « réchauffeur en hélice », tuyau ou serpentin, qui, formant une partie de la conduite d'alimentation, était placé dans le réservoir d'eau chaude. Les premières machines avaient des cylindres en laiton; mais, dès 1743, on y substitua la fonte. Desaguliers conseillait les cylindres en fer comme pouvant être moins épais, mieux polis, et absorbant moins la chaleur que ceux en laiton.

En quelques années la machine de Newcomen fut adoptée dans presque toutes les mines importantes de la Grande-Bretagne; plusieurs mines nouvelles, jusqu'alors inabordables, furent mises en exploitation, dès qu'on put compter sur cette machine pour les débarrasser des masses d'eau énormes qui les inondaient. La première machine qui ait fonctionné en Écosse fut établie en 1720 à Elphinstone, dans le Stirlingshire. Il en fut même monté une en Hongrie en 1723.

La première machine pour les mines, installée à Griff en 1712, avait un cylindre de 22 pouces de diamètre; la deuxième et la troisième étaient de mêmes dimensions. Dans celle d'Ansthorpe, le diamètre du cylindre n'était encore que de 23 pouces, et il s'écoula bien du temps avant qu'on en construisît de beaucoup plus grands. Mais enfin Smeaton et autres portèrent ce diamètre jusqu'à 6 pieds.

Pour calculer la puissance élévatoire de ses machines, Newcomen se contentait de « faire le carré du diamètre exprimé en pouces, et, séparant le dernier chiffre, il appelait le résultat le *nombre rond de quintaux;* puis, ajoutant un zéro à droite du chiffre séparé, il obtenait l'*appoint en livres*. Il admettait cette méthode comme *suffisamment exacte pour une pression barométrique moyenne, ou plutôt quand le baromètre s'élevait au-dessus de 30 pouces et que l'air était pesant* ». Pour tenir compte des pertes par frottement et autres causes, il déduisait ensuite de 1/4 à 1/3. Desaguliers trouvait cette règle très exacte. La pression moyenne habituelle qui s'opposait au mouvement du piston s'élevait, dans les meilleures machines, à environ 8 livres par pouce carré de

surface. La vitesse de ce piston variait de 150 à 175 pieds par minute. La température de la bâche à eau chaude était de 145° à 175° Fahrenheit (63° à 75° centigr.).

Smeaton fit un grand nombre d'essais avec des machines de Newcomen pour en mesurer le « rendement », c'est-à-dire, pour déterminer la dépense en combustible nécessaire pour élever une certaine quantité d'eau à une hauteur donnée. Il trouva qu'une machine à cylindre de 10 pouces de diamètre, dont le piston avait 3 pieds de course, pouvait, en brûlant un boisseau de charbon pesant 84 livres, faire un travail équivalent à l'élévation de 2,919,017 livres d'eau à un pied de hauteur[1].

Une des plus fortes machines de Smeaton, établie à Long-Benton, avait 52 pouces de diamètre de cylindre et 7 pieds de course de piston, celui-ci battant 12 coups par minute. La pression active était de 7 1/2 livres par pouce carré, et la puissance effective d'environ 40 chevaux. La chaudière transformait en vapeur 7,88 livres d'eau par livre de combustible brûlé ; elle avait 35 pieds carrés de surface de grille, et une surface de chauffe totale de 459 pieds carrés, dont 142 sous la chaudière et 317 pieds dans les carneaux. L'ensemble des parties mobiles de cette machine pesait 8 tonnes et demie.

En 1775, Smeaton installa à la mine de Chasewater, dans le Cornouailles, une de ces machines, qui était de dimensions très considérables. Le cylindre avait 6 pieds de diamètre, et la course maximum du piston 9 1/2 pieds. On la réduisait ordinairement à 9 pieds, et le piston battait 9 coups par minute. Les pompes étaient disposées en trois étages de 100 pieds environ de hauteur ; elles avaient 16 pouces trois quarts de diamètre. Cette machine en remplaçait deux autres, dont les cylindres avaient respectivement 62 et 64 pouces de diamètre, et les pistons 6 pieds de course ; l'une, établie à mi-hauteur, faisait mouvoir des pompes de 18 pouces et demi de diamètre qui élevaient l'eau à

1. Soit une consommation de 25 kilogrammes de charbon par heure et par cheval. *(N. du trad.)*

144 pieds ; la machine supérieure, placée au-dessus et munie de pompes de 17 pouces et demi de diamètre, élevait à 156 pieds l'eau que lui envoyait la première. La machine qui remplaça ces deux autres développait une puissance de 76 chevaux et demi. Elle avait trois chaudières, dont chacune avait 15 pieds de diamètre et 23 pieds carrés de surface de grille. La cheminée avait 22 pieds de hauteur. Le grand balancier de cette machine était formé de 20 poutres de sapin, en deux couches de 10, placées côte à côte et solidement boulonnées ensemble. Il avait plus de 6 pieds d'épaisseur au milieu et 5 aux extrémités ; sa largeur était de 2 pieds entre les tourillons sur lesquels il oscillait. Ceux-ci avaient 8 pouces et demi de diamètre et 8 pouces et demi de long. Le cylindre pesait 6 tonnes et demie et fut payé à raison de 28 shillings le quintal (70 francs les 100 kilogrammes).

Ainsi donc, vers la fin du XVIIIe siècle, la machine de Newcomen, perfectionnée par l'ingéniosité de Potter et de Beighton, par les études méthodiques et les recherches expérimentales de Smeaton, constituait un type bien déterminé ; et son application à l'élévation de l'eau était devenue générale. Les mines de houille de Coventry et de Newcastle avaient adopté cette méthode d'épuisement ; les mines d'étain et de cuivre du Cornouailles s'étaient approfondies, en employant pour l'assèchement des machines de la plus grande dimension.

Quelques-unes avaient été établies à Londres et aux environs, sur le théâtre même des luttes et des échecs de Worcester ; elles y étaient employées pour approvisionner d'eau les maisons importantes. Enfin on en trouvait également dans d'autres grandes villes d'Angleterre, où l'on avait organisé des établissements pour la distribution des eaux.

Quelques machines aussi avaient été employées à faire marcher des usines par une méthode indirecte : elles élevaient l'eau qui faisait tourner une roue hydraulique. Farey dit que cette disposition fut appliquée pour la première fois en 1752 à une usine près de Bristol, et que l'usage en fut assez répandu pendant les 25 années suivantes. Beaucoup de

machines avaient été construites en Angleterre et envoyées sur le continent pour y être employées à l'épuisement des mines. Bélidor écrivait, en 1734 [1], que la fabrication de ces « machines à feu » était une industrie exclusivement anglaise, et il en fut encore ainsi pendant bien des années. Quand on s'en servait pour l'épuisement des mines, la machine faisait habituellement manœuvrer la pompe élévatoire ordinaire à piston ; quand on y avait recours pour approvisionner d'eau les villes, la pompe foulante ou à piston plongeur était souvent employée, la machine étant placée au-dessous du niveau du réservoir à remplir. Le docteur Rees assure que cette machine était d'un usage habituel dans les houillères anglaises dès 1725.

Cette même année, une licence fut accordée à la houillère d'Edmonstone, pour construire une machine dont le diamètre du cylindre ne devait pas excéder 28 pouces et la course du piston 9 pieds. Le droit à payer était de 80 livres sterling (2,000 francs) par an, pendant 8 ans. La machine fut construite en Écosse par des ouvriers envoyés d'Angleterre, et coûta environ 1,200 livres sterling (30,000 francs). Son prix élevé est attribué à l'emploi considérable qu'on y avait fait du laiton. Les ouvriers étaient défrayés de toutes dépenses et recevaient comme salaire 15 shillings (18 fr. 75) par semaine. Les constructeurs furent John et Abraham Potter, de Durham. Une machine construite en 1775, ayant des cylindres de 48 pouces de diamètre et 7 pieds de course de piston, coûta environ 2,000 livres sterling (50,000 fr.).

En 1767, Smeaton trouva en activité, près de Newcastle, 57 machines, dont les dimensions variaient de 28 à 75 pouces de diamètre de cylindre, et dont l'ensemble représentait une force d'environ 1200 chevaux. Quinze de ces machines donnaient comme moyenne 98 pouces carrés de surface de piston par cheval, et le rendement moyen était de 5,590,000 livres élevées à 1 pied de hauteur pour une consommation d'un boisseau (84 livres) de charbon. Le rendement maximum s'élevait à 7,440,000; le minimum

1. *Architecture hydraulique*, 1734.

descendait à 3,220,000[1]. La meilleure machine avait un cylindre de 42 pouces de diamètre; la charge équivalait à 9 livres un quart par pouce carré de surface du piston, et le calcul indiquait une puissance développée de 167 chevaux.

Price, qui écrivait en 1778, dit, dans l'Appendice à sa *Mineralogia cornubiensis* : « L'invention par M. Newcomen de la machine à feu nous a permis de donner à nos mines une profondeur double de celle qu'on pouvait atteindre précédemment avec toutes les autres machines. Depuis l'achèvement de cette invention, la plupart des autres tentatives faites pour la perfectionner n'ont eu aucun succès ; mais l'énorme consommation de combustible que font ces machines absorbe une grande partie des bénéfices de nos mines ; car chaque machine à feu un peu considérable brûle pour 3,000 livres (75,000 francs) de charbon par an. C'est une dépense si lourde, qu'elle équivaut presque à une prohibition. »

En 1773, on donna à Smeaton la description d'une chaudière *en pierre*, employée avec une de ces machines dans une mine de cuivre à Camborne, en Cornouailles. Elle contenait trois carneaux de cuivre de 22 pouces de diamètre, que les gaz traversaient successivement pour se rendre finalement à la cheminée. Cette chaudière était cimentée avec du mortier hydraulique. Elle avait 20 pieds de long, 9 de large et 8 1/2 de profondeur. Elle était chauffée par la chaleur perdue des fours à griller le minerai. C'est l'une des premières chaudières à carneaux qu'on ait jamais faites.

En 1780, Smeaton put dresser une liste de 18 grandes machines, qui fonctionnaient dans le Cornouailles. La plupart avaient été construites par Jonathan Hornblower et John Nancarron. A cette époque, la plus puissante et la

1. Les chiffres ci-dessus, traduits en mesures françaises usuelles, donnent les résultats suivants :

5,590,000 — 7,440,000 — 3,220,000 livres-pieds par boisseau de charbon consommé correspondent à : $13^k,3$ — $10^k,0$ — $23^k,9$ de charbon par heure et par cheval. *(Note du traducteur.)*

mieux connue des machines élévatoires employées pour la distribution des eaux se trouvait aux York-Buildings, dans Villiers-Street, quartier du Strand à Londres. Elle fonctionnait depuis 1752 et avait été construite à côté d'une des machines de Savery, établie en 1710. Elle avait un cylindre de 45 pouces de diamètre et 8 pieds de course de piston. Celui-ci donnait 7 coups et demi par minute, et la puissance développée était de 35 chevaux et demi. La chaudière était en cuivre et en forme de dôme; elle contenait une grande

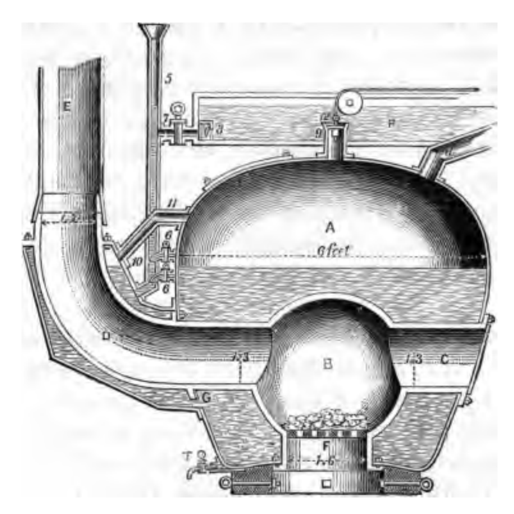


Fig. 25. — Chaudière de la machine à vapeur portative de Smeaton, 1765.

boîte à feu centrale et un carneau en hélice qui se rendait au dehors dans la cheminée. Une autre machine un peu plus grande fut construite et placée à côté de celle-ci, quelque temps avant l'année 1775. Son cylindre avait 49 pouces de diamètre et 9 pieds de course. Elle élevait l'eau à 102 pieds. Cette machine fut modifiée et perfectionnée par Smeaton en 1777, et continua de fonctionner jusqu'en 1813.

Dès 1765, Smeaton fit le projet d'une machine *portative*[1]

1. Smeaton, *Reports*, t. Ier, p. 223.

dans laquelle tout le mécanisme était soutenu par un cadre en bois monté sur des pieds peu élevés et solidement assemblés, de telle sorte que la machine tout entière pouvait être amenée et mise en train en tel endroit qu'on le désirait.

Au lieu d'un balancier, il employait une grande poulie par-dessus laquelle passait une chaîne qui reliait le piston avec la tige de la pompe, et qui remplaçait le balancier. Cette poulie était portée par des châssis en forme d'A, assez semblables aux « châssis en potence » encore en usage aujourd'hui pour les machines à vapeur à balancier des steamers américains. Les seuils qui portaient les deux A soutenaient le cylindre. Le réservoir d'injection était établi au-dessus de la grande poulie. Tout le système des robinets et soupapes de distribution, ainsi que la pompe d'injection, était manœuvré par une petite roue montée sur le même axe que la grande poulie. La chaudière était séparée de la machine, avec laquelle elle communiquait par un tube dans lequel était placé le « régulateur » ou registre de vapeur.

La chaudière (fig. 25) « avait la forme d'une grande bouilloire à thé » et contenait une boîte à feu, B, ou foyer intérieur, dont les parois étaient en fonte. La porte du foyer C était placée sur un côté et vis-à-vis du carneau D, par lequel les produits de la combustion étaient amenés à la cheminée E ; un gros et court tuyau F, descendant du foyer et conduisant à l'extérieur de la chaudière, constituait le cendrier. Le corps de la chaudière A était en plaques de fer d'un quart de pouce d'épaisseur. Le cylindre à vapeur de la machine avait 18 pouces de diamètre ; la course du piston était de 6 pieds ; la grande poulie avait 6 1/2 pieds de diamètre, et les châssis en A, 9 pieds de haut. La chaudière avait 6 pieds de diamètre, le foyer 34 pouces, et la grille 18. Le piston devait battre 10 coups par minute, et la machine développer une puissance de 4 1/8 chevaux.

En 1773, Smeaton prépara les plans d'une machine d'épuisement qui devait être établie à Cronstadt, le port de Saint-Pétersbourg, pour vider le grand bassin de carénage

construit par Pierre le Grand et Catherine. Ce grand bassin avait été commencé en 1719. Il était assez vaste pour recevoir dix vaisseaux de l'époque, et il avait précédemment été imparfaitement mis à sec par deux grands moulins à vent de 100 pieds de haut. Ces moulins travaillaient si mal qu'il fallait *une année entière* pour vider le bassin, dont, par conséquent, on ne pouvait se servir qu'une fois chaque été. La machine de Smeaton fut construite à l'usine Carron, en Angleterre. Elle avait un cylindre de 66 pouces de diamètre, et la course du piston était de 8 1/2 pieds. La hauteur d'élévation d'eau variait de 33 pieds, quand le bassin était plein, à 53, quand il était près d'être à sec. La charge de la machine était en moyenne de 8 1/3 livres par pouce carré de la surface du piston. Il y avait 3 chaudières, chacune de 10 pieds de diamètre et de 16 pieds 4 pouces de hauteur, jusqu'au sommet du dôme hémisphérique. Elles contenaient des boîtes à feu intérieures avec grilles de 20 pieds de surface, et étaient entourées de carneaux en hélice ménagés dans le bâtis en maçonnerie. La machine fut mise en mouvement en 1777, et fit le service avec un succès complet.

C'était aussi par le moyen de moulins à vent qu'avant Smeaton on maintenait à sec les basses terres de Hollande. L'incertitude et l'inefficacité de cette méthode empêchaient de l'appliquer sur une échelle tant soit peu comparable avec ce que l'on a pu faire depuis au moyen de la vapeur. En 1440, il existait dans ce pays 150 lacs intérieurs ou *meers*, dont près d'une centaine, représentant une surface de plus de 80,000 hectares, ont été asséchés depuis. La « mer de Haarlem » seule couvre près de 20,000 hectares, et forme le bassin de réception d'une étendue de pays de 80,000 à 120,000 hectares, sur laquelle tombe annuellement une quantité d'eau de pluie équivalant à 54,000,000 de tonnes, qu'il faut élever à 16 pieds pour s'en débarrasser. Le fond de ces lacs est de 10 à 20 pieds au-dessous du niveau de l'eau dans les canaux adjacents. En 1840, 12,000 moulins à vent étaient encore affectés à ce travail. L'année suivante, Guillaume II, sur l'avis d'une commis-

sion, décida qu'on n'emploierait plus que des machines à vapeur pour l'exécution de cette œuvre gigantesque. Jusqu'alors la consommation de combustible des machines d'épuisement avait été, paraît-il, de 9 kilogrammes par cheval et par heure.

La première machine consacrée à ce travail, en Hollande, fut établie en 1777 et 1778, d'après le système de Newcomen, pour venir en aide aux 44 moulins à vent affectés au desséchement d'un lac près de Rotterdam. Ce lac couvrait 3,000 hectares, et le fond en était à 12 pieds au-dessous du niveau de la Meuse, qui le traverse et se jette dans la mer tout près de là. Les pièces métalliques de la machine furent construites en Angleterre et le montage eut lieu en Hollande. Le cylindre à vapeur avait 52 pouces de diamètre, et la course du piston était de 9 pieds. La chaudière avait 18 pieds de diamètre et contenait un double carneau. Le grand balancier avait 27 pieds de long. Il y avait 6 pompes, 3 cylindriques et 3 à section carrée; 3 avaient 6 pieds, et les 3 autres 2 1/2 pieds seulement de course de piston. On ne faisait manœuvrer que deux pompes à marée haute, et l'on y ajoutait successivement les autres, à mesure que la mer descendait, jusqu'à ce qu'à marée basse, toutes les six fussent à l'œuvre.

Les dimensions de cette machine et l'importance du travail qu'elle exécutait semblent insignifiantes quand on les compare à celles des machines établies 60 ans plus tard pour l'assèchement de la mer de Haarlem. Celles-ci, qui sont au nombre de 3, ont des cylindres de 3^m,66 de diamètre et 3^m,05 de course de piston. L'une d'elles fait mouvoir onze pompes de 1^m,60 de diamètre et 3^m,05 de course de piston; les deux autres, chacune 8 pompes dont le piston a la même longueur de course, mais dont le diamètre atteint 1^m,85. Ces machines modernes font un travail utile de 10 à 12 millions de kilogrammètres pour 43 kilogrammes de combustible consommé, en ne brûlant que 1 kilogramme de charbon par heure et par cheval.

La première machine à vapeur employée à faire marcher la soufflerie d'un fourneau à courant d'air forcé, fut

établie en 1765 à l'usine Carron, près Falkirk en Écosse, et ne donna que de très-mauvais résultats. Plus tard, en 1769 ou 1770, Smeaton introduisit de meilleures dispositions dans cet établissement; il perfectionna aussi l'ancienne machine, et bientôt cet emploi des moteurs à vapeur devint d'un usage général. La machine en question ne travaillait du reste qu'indirectement, en puisant de l'eau pour faire tourner les roues hydrauliques qui mettaient en mouvement la soufflerie. Son cylindre à vapeur avait 6 pieds de diamètre et celui de la pompe 52 pouces. La course du piston était de 9 pieds.

Il faut aller jusqu'en 1784, pour trouver une machine agissant directement comme machine soufflante. Un cylindre soufflant à simple effet, ou pompe à air, était placé à l'extrémité libre du balancier, là où jusqu'alors on avait attaché la tige de la pompe. Le piston de ce cylindre à air était chargé des poids nécessaires pour le forcer à descendre en chassant le gaz, et le travail de la machine consistait à soulever ce piston chargé, pendant l'élévation duquel le cylindre se remplissait d'air. On employait un vaste « accumulateur » pour égaliser la pression du fluide expulsé. Cet organe de la machine consistait en un deuxième cylindre à air, muni d'un piston chargé qui pouvait monter et descendre librement. Pendant la descente du piston soufflant, ce cylindre se remplissait, le piston chargé se soulevant jusqu'en haut; pendant l'ascension du piston soufflant, l'accumulateur, dont le piston descendait lentement sous l'effort de sa charge, expulsait graduellement le fluide emmagasiné. Ce piston était appelé le « piston flottant » ou « piston volant », et son rôle était le même que celui de la partie supérieure du soufflet de forge ordinaire.

Le docteur Robison, auteur de la *Philosophie mécanique*, un des rares ouvrages, même parmi les plus modernes, qui méritent réellement ce titre, décrit une de ces machines[1], comme fonctionnant en Écosse en 1790. Elle avait un cylindre à vapeur de 40 à 44 pouces de diamètre,

1. *Encyclopœdia Britannica*, 1re édition.

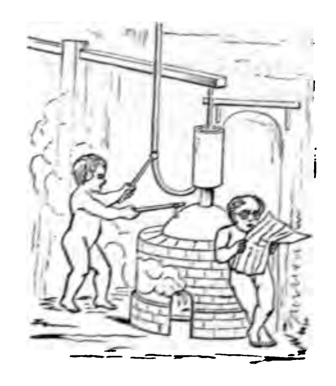
un cylindre soufflant de 60 pouces, et la course du piston était de 6 pieds. La pression de l'air était de 2,77 livres par pouce carré au maximum dans le cylindre soufflant; et le piston flottant du cylindre régulateur était chargé de 2,63 livres par pouce carré. Donnant 15 à 18 coups de piston par minute, cette machine fournissait dans le même temps environ 1,600 pieds cubes, ou, en poids, 120 1/2 livres d'air, et développait une puissance de 20 chevaux.

Environ vers la même époque, une modification fut introduite dans le cylindre soufflant. L'air continua d'y entrer par le bas, comme précédemment, mais en fut chassé par le haut, le piston étant muni de soupapes comme dans la pompe aspirante ordinaire, et la machine étant ainsi disposée pour faire le travail d'expulsion pendant la course descendante du piston à vapeur.

Quatre ans plus tard, on abandonna le cylindre régulateur ou accumulateur, pour y substituer le « régulateur hydraulique » aujourd'hui bien connu. Il consiste en un réservoir, habituellement en tôle, placé l'ouverture en bas, dans une cuve plus grande contenant de l'eau. Le bord inférieur du réservoir est soutenu par des supports à quelques pouces au-dessus du fond de la cuve. Le tuyau qui amène l'air de la machine soufflante passe au-dessus de ce régulateur hydraulique et se bifurque pour envoyer une de ses branches, qui descend et pénètre dans le réservoir. Le niveau de l'eau intérieur varie alors avec les changements dans la pression de l'air; il monte quand cette pression diminue par suite d'un ralentissement dans le mouvement du piston; il descend au contraire quand, le piston accélérant sa marche, la pression vient à augmenter. Le régulateur, emmagasinant ainsi l'excès d'air insufflé pour le rendre au moment opportun, aide beaucoup à uniformiser la pression. Plus il est vaste, plus cette pression approche d'être constante. Le niveau de l'eau, en dehors du réservoir, est ordinairement de 5 à 6 pieds plus élevé qu'au dedans. Cet appareil a été trouvé beaucoup plus satisfaisant que le régulateur précédemment employé; et, depuis son adoption, l'emploi de la machine à vapeur comme machine souf-

flante, pour les usines et les foyers à courant d'air forcé, peut être considéré comme définitivement établi.

Ainsi, vers la fin du troisième quart du XVIIIe siècle, la machine à vapeur était devenue d'un usage général; elle avait été appliquée à presque tous les usages pour lesquels une machine à simple effet pouvait convenir. La voie ouverte par Worcester avait été nettement tracée par Savery et ses contemporains; et les constructeurs de la machine de Newcomen, avec les perfectionnements qu'ils avaient pu y apporter, s'étaient avancés déjà fort loin. Le mérite d'avoir réellement fait passer la machine à vapeur dans le domaine de la pratique peut être accordé à Smeaton, aussi équitablement qu'à aucun des inventeurs dont les noms sont plus généralement connus. Comme mécanicien il était sans rival, et comme ingénieur il dépassait de haut tous les constructeurs qui, de son temps, exerçaient régulièrement cette profession. Il se fit à cette epoque, dans toute la Grande-Bretagne, très peu de travaux publics pour lesquels il ne fût consulté; et souvent il recevait la visite d'ingénieurs étrangers qui lui demandaient ses conseils pour des ouvrages en cours d'exécution sur le continent.



LIVRE III

LA MACHINE A VAPEUR MODERNE.

> Le monde entre aujourd'hui dans le siècle de la mécanique. Rien n'est plus certain dans l'avenir que les grandes victoires que ce siècle doit remporter. Il a déjà fait plus d'une glorieuse conquête. Quelles inventions merveilleuses surgissent en foule autour de nous ! Regardez de tous côtés et contemplez l'œuvre immense accomplie par la puissance de la vapeur.
>
> Et pourtant nous commençons à peine — nous ne sommes qu'au seuil de cet âge nouveau..... Qu'est-ce autre chose que l'apposition sur le XIXe siècle, du sceau qui le rend illustre entre tous ? — que la proclamation de ce fait que l'humanité s'est élevée à une hauteur qu'elle n'avait jamais atteinte ? — qu'une voix d'en haut s'écriant : « Honneur, honneur immortel aux ouvriers qui remplissent cet univers de beauté, de bien-être et de puissance ! » — honneur qui sera pour toujours consacré par l'histoire, perpétué par les monuments, gravé dans le cœur de la génération présente et de celles qui lui succéderont !
>
> KENNEDY.

CHAPITRE I

JAMES WATT ET SES INVENTIONS.

Le succès de la machine de Newcomen attira naturellement l'attention des savants, aussi bien que des praticiens, sur la possibilité de trouver d'autres applications de la puissance de la vapeur.

Les hommes les plus éminents de cette époque s'occupèrent beaucoup du sujet ; mais, jusqu'au jour où James Watt entreprit les études qui l'ont rendu célèbre, les plus habiles ingénieurs eux-mêmes, comme Brindley et Smeaton, se bornèrent à quelques perfectionnements et à de légères modifications de détail, de la machine de Newcomen et Cawley. Si l'on ne sait que très peu de chose de l'histoire personnelle des premiers inventeurs, qui créèrent et per-

fectionnèrent la machine à vapeur, la vie de James Watt est, en revanche, très bien connue.

Il était de modeste origine et naquit à Greenock. Ce simple petit village de pêcheurs écossais est devenu aujourd'hui une grande et industrieuse cité, qui lance annuellement sur les eaux de la Clyde une flotte de steamers,



Fig. 26. James Watt.

dont les machines représentent sans doute une force totale bien supérieure à la puissance réunie de toutes celles qui existaient quand James Watt vint au monde, le 19 janvier 1736. Son grand-père Thomas Watt, de Crawfordsdyke près de Greenock, était connu comme mathématicien vers l'année 1700, et fut pendant de longues années maître d'école de son village. Son père était un des notables de Greenock, et à plusieurs reprises il fut le premier magistrat du village et le trésorier des finances municipales. James Watt était un bel enfant, mais d'une santé extrêmement délicate, au point de ne pouvoir aller régulièrement à l'école, ni se livrer assidûment à l'étude ou même au jeu. Sa première éduca-

tion lui fut donnée par ses parents, personnes respectables et intelligentes; et les outils qu'il empruntait à l'établi de menuisier de son père servirent, tout en l'amusant, à lui donner une dextérité et une habileté manuelles, qui très certainement lui furent plus tard d'une utilité inappréciable.

M. Arago, l'éminent physicien français, auteur d'une des premières et des plus intéressantes biographies de Watt, raconte de lui des anecdotes qui, si elles sont vraies, mettent bien en relief son intelligence et son caractère méditatif, ainsi que son penchant naturel pour la mécanique. On assure qu'à l'âge de six ans, il s'occupait, dans ses moments de loisir, à résoudre des problèmes de géométrie; et, dans une anecdote où il nous le montre faisant des expériences avec une bouilloire à thé, Arago découvre le germe de ses premières recherches sur la nature et les propriétés de la vapeur [1].

Lorsqu'enfin il fut envoyé à l'école de son village, sa mauvaise santé l'empêcha de faire des progrès rapides; et ce ne fut qu'à l'âge de 13 ou 14 ans, qu'il commença à se montrer capable de prendre la tête de sa classe et à faire preuve de moyens réels pour l'étude, principalement pour celle des mathématiques. Il consacrait la plupart des moments qu'il avait de libres, à dessiner au crayon, à travailler à l'établi de son père, y découpant du bois ou du métal. Il construisit nombre de petits appareils ingénieux, et quelques modèles fort jolis. Son travail favori semblait être la réparation des instruments de marine. Entre autres machines dues à la main du jeune garçon, se trouvait un très-bel orgue de Barbarie. Dans son adolescence, comme dans sa vieillesse, il se montra lecteur infatigable, et paraissait trouver quelque chose d'intéressant dans tous les livres qui lui tombaient entre les mains.

A l'âge de 18 ans, Watt fut envoyé à Glasgow, pour y demeurer chez les parents de sa mère, et y étudier la profession de fabricant d'instruments de mathématiques. On

1. On raconte la même histoire de Savery et de Worcester.

s'aperçut bientôt que le mécanicien, chez lequel on l'avait placé, était trop indolent ou trop ignorant pour aider beaucoup à son instruction; et le docteur Dick, de l'Université de Glasgow, dont Watt avait fait la connaissance, lui conseilla d'aller à Londres. En conséquence il partit en juin 1755 pour la métropole où, à son arrivée, il conclut un arrangement avec un M. John Morgan, de Cornhill, pour travailler pendant une année au métier qu'il avait choisi, moyennant un salaire de 20 guinées (un peu plus de 500 francs). Au bout d'un an, il fut obligé, par une indisposition sérieuse, de retourner dans son pays natal.

Une fois rétabli, il revint à Glasgow en 1756, dans le but d'y continuer l'exercice de sa profession. Mais, comme il n'était pas fils d'un bourgeois de la ville et qu'il n'y avait pas fait son temps d'apprentissage régulier, il lui fut interdit par les corporations ou corps de métiers *(trades-unions)*, d'ouvrir une boutique à Glasgow. Le docteur Dick vint à son aide et l'employa à réparer quelques instruments qui avaient été légués au collège. Enfin on lui accorda la disposition de trois pièces dans les bâtiments de l'Université, dont les autorités n'étaient pas soumises à la loi municipale. Il y resta jusqu'en 1760, alors que, les corporations ayant cessé de s'y opposer, il ouvrit une boutique dans la ville. En 1761, il changea encore une fois de domicile et s'établit sur le côté nord de la Trongate, où il put, sans être molesté, gagner tant bien que mal sa vie, sans interrompre ses relations avec l'Université. Il travailla aussi quelque peu comme ingénieur civil dans le voisinage de Glasgow, mais renonça bientôt à toute autre occupation pour se consacrer entièrement à la mécanique.

Il employait la plus grande partie de ses loisirs — dont il n'avait que trop dans les commencements — à faire des expériences de physique, à confectionner des instruments de musique, à se familiariser avec les sciences et à imaginer des perfectionnements dans la construction des orgues. Afin de pouvoir plus facilement poursuivre ses recherches, il étudia l'allemand et l'italien et lut les *Harmoniques* de Smith, pour mieux se rendre compte des

principes sur lesquels reposait la construction des instruments de musique. Ses lectures étaient encore très décousues; mais l'introduction, dans le voisinage de Glasgow, de la machine de Newcomen, et la présence, dans les collections universitaires, d'un modèle qu'on lui confia en 1763 pour le réparer, le conduisirent à étudier l'histoire de la machine à vapeur. Et bientôt il se vit amené à faire lui-même des recherches expérimentales sur les propriétés de la vapeur, avec une série d'appareils improvisés.

Le docteur Robison était alors un des étudiants de l'Université. Il aimait à passer ses heures de loisir dans la boutique de Watt; et leurs goûts s'accordaient si bien, qu'ils devinrent grands amis dès qu'ils eurent fait connaissance. Robison appela, dès 1759, l'attention du fabricant d'instruments de physique sur la machine à vapeur, et formula même l'opinion qu'on pourrait bien l'employer à faire mouvoir des voitures. L'esprit de Watt fut immédiatement frappé de cette idée et il se mit à fabriquer un petit modèle dont les cylindres étaient d'étain et les pistons reliés aux roues motrices par tout un système d'organes intermédiaires. Ce projet fut ensuite abandonné, et il s'écoula un quart de siècle avant que son auteur le reprît.

Watt étudiait aussi la chimie avec l'aide des conseils et des leçons du docteur Black, alors occupé des recherches dont le résultat fut la découverte de la « chaleur latente ». L'offre qu'il avait faite de réparer le modèle de la machine Newcomen, conservé dans les collections du collège, l'amena à étudier le traité de Desaguliers, ainsi que les ouvrages de Switzer et autres. Il apprit ainsi ce qu'avaient fait Savery, Newcomen, et ceux qui avaient perfectionné la machine de ce dernier.

Dans ses expériences, Watt employa d'abord des fioles de pharmacie et des cannes creuses en guise de tuyaux et de réservoirs à vapeur; plus tard, il se servit d'un digesteur de Papin et d'une seringue commune. Cette dernière combinaison représentait une machine sans condensation, dans laquelle il employait la vapeur à une pression de 15 livres par pouce carré. La soupape se manœuvrait à

la main, et Watt comprit de suite qu'il suffirait d'un dispositif qui la fît mouvoir automatiquement, pour que la machine fût capable de travailler. Cette expérience toutefois n'eut pas de résultats pratiques. Il possédait enfin le modèle de Newcomen revenu de Londres où on l'avait envoyé en réparation ; et, après l'avoir mis en état de fonctionner régulièrement, il commença des essais suivis.

Ce modèle de Newcomen se trouvait par hasard avoir

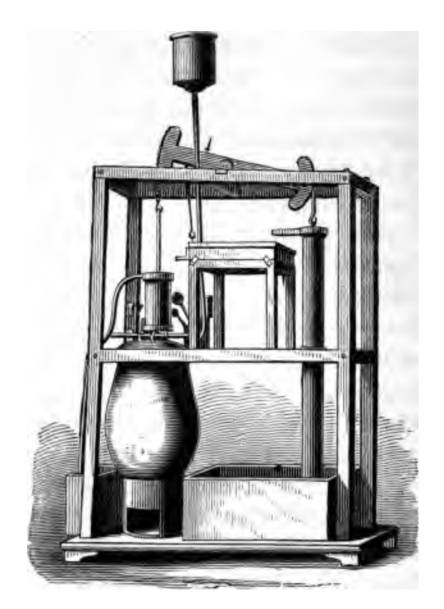


Fig. 27. — Le modèle de Newcomen.

une chaudière qui, bien que faite à l'échelle des machines alors en usage, était absolument incapable de fournir assez de vapeur pour faire marcher l'appareil. Cette chaudière avait environ 9 pouces de diamètre, le cylindre en avait 2 et la course du piston était de 6. Le tout était disposé comme le montre la figure 27, reproduction du modèle tel qu'il existe aujourd'hui, car il est conservé soigneusement comme un des plus précieux trésors de l'Université de Glasgow.

Watt construisit une nouvelle chaudière pour les recherches expérimentales qu'il voulait entreprendre ; et il la disposa de façon à pouvoir mesurer les quantités d'eau vaporisée et de vapeur employée à chaque coup de piston de la machine.

Il découvrit bientôt qu'il ne fallait qu'une très-petite quantité de vapeur pour échauffer une très-grande quantité d'eau; et aussitôt il essaya de déterminer avec précision les poids relatifs de vapeur et d'eau qui se trouvaient dans le cylindre, quand s'opérait la condensation lors de la descente du piston. Il prouva ainsi d'une manière indépendante l'existence de cette « chaleur latente », dont la découverte constitue également l'un des plus beaux titres de gloire du docteur Black. Watt alla le trouver sans délai, lui raconta le fait remarquable qu'il avait constaté, et apprit à son tour du docteur la nature de ce phénomène, telle que Black l'avait, peu de temps auparavant, expliquée à ses élèves. Watt avait mesuré qu'à la température de l'ébullition, la vapeur, en se condensant, pouvait échauffer au même degré six fois son poids de l'eau qu'on employait pour la condensation.

S'apercevant ainsi que la vapeur était, à poids égal, capable d'absorber et de retenir beaucoup plus de chaleur que l'eau, Watt vit clairement combien il importait de la ménager plus soigneusement qu'on ne l'avait fait avant lui. Il essaya d'abord de l'économiser en couvrant la chaudière de douves de bois, afin de prévenir les pertes par conductibilité et rayonnement ; et il augmenta le nombre des carneaux pour obtenir une absorption plus complète de la chaleur fournie par les gaz de la combustion. Il enveloppa aussi ses tuyaux à vapeur de substances non conductrices, et prit toutes les précautions que son esprit ingénieux put imaginer, pour assurer l'utilisation complète de la chaleur de combustion. Bientôt pourtant il s'aperçut que là n'était pas le point capital, et qu'il fallait chercher la plus grosse cause de pertes, dans la façon défectueuse dont on faisait agir la vapeur dans le cylindre. Il conclut de ses observations que les pertes de chaleur de la machine de Newco-

men, — pertes fortement amplifiées dans son petit modèle, — provenaient :

1° De ce que le cylindre même, qui était en laiton, en perdait beaucoup, par conductibilité et par rayonnement ;

2° De la nécessité de refroidir ce cylindre à chaque coup de piston lors de la production du vide;

3° De la perte de force due à la pression de la vapeur qui restait au-dessous du piston, par suite de la méthode imparfaite de condensation employée.

Il fit faire d'abord un cylindre de matière non conductrice, — en bois imbibé d'huile et durci au feu, — et il obtint une économie notable de vapeur. Il exécuta alors une série d'expériences très précises sur la température et la pression de la vapeur, dans les limites qu'il pouvait facilement réaliser. Puis, construisant avec ces résultats, une courbe dont les abscisses représentaient les températures, et les ordonnées, les pressions, il la prolongea par en bas jusqu'à ce qu'il eût obtenu des valeurs très approchées pour les températures au-dessous de celle de l'ébullition et les pressions inférieures à celle de l'atmosphère. Il trouva ainsi qu'avec la quantité d'eau d'injection employée dans la machine de Newcomen, quantité qui n'abaissait la température qu'entre 140° et 175° Fahrenheit (60° et 80° centigrades), la vapeur du cylindre devait conserver une pression très considérable.

Poussant plus loin ses études, il mesura la quantité de vapeur dépensée à chaque coup de piston, et, la comparant avec celle qui eût suffi à remplir le cylindre, il s'aperçut qu'on *en perdait au moins les trois quarts*. Il détermina ensuite le poids d'eau froide nécessaire pour produire la condensation d'un poids donné de vapeur ; et il trouva qu'une livre de cette dernière renfermait assez de chaleur pour élever environ 6 livres de l'eau employée pour la condensation, depuis la température de 52° Fahrenheit (11° centigrades) jusqu'au point d'ébullition. Puis, continuant encore, il constata qu'il était forcé d'injecter, à chaque coup de piston de la machine Newcomen, *quatre fois autant d'eau qu'il en faudrait pour condenser une quantité de vapeur capable de*

remplir entièrement le cylindre. Cela confirmait sa précédente conclusion, qu'on perdait les trois quarts de la chaleur fournie à la machine.

Watt était donc, par ses propres recherches, comme il les énumère lui-même[1], arrivé à déterminer :

« 1° Les capacités calorifiques relatives du fer, du cuivre et de différentes sortes de bois, en prenant l'eau pour point de comparaison;

« 2° La relation entre les volumes de la vapeur et de l'eau qui la produit;

« 3° La quantité d'eau vaporisée dans une chaudière donnée par livre de charbon;

« 4° L'élasticité de la vapeur à diverses températures supérieures à celle de l'eau bouillante, et la loi approximative de cette élasticité aux basses températures;

« 5° La quantité d'eau dépensée à chaque coup de piston, sous forme de vapeur, par une petite machine Newcomen ayant un cylindre de bois de 6 pouces de diamètre et de 12 pouces de course;

« 6° La quantité d'eau froide nécessaire à chaque coup de piston, pour condenser la vapeur dans ce cylindre, de façon à lui donner une puissance utile d'environ 7 livres par pouce carré. »

Après ces expériences, bien conduites et vraiment scientifiques, Watt pouvait entreprendre son travail de perfectionnement de la machine à vapeur; il en comprenait maintenant les défauts et en connaissait les causes. Il ne tarda pas à voir que, pour réduire les pertes qui se produisaient pendant que la vapeur agissait dans le cylindre, il fallait trouver quelque moyen de maintenir, comme il dit, ce cylindre « toujours aussi chaud que la vapeur qu'on y faisait entrer », malgré les grandes variations de température et de pression que subissait cette vapeur pendant la course ascendante et descendante du piston. Il nous a raconté comment lui vint l'heureuse idée qui supprima toutes les difficultés, et le conduisit à la série de modifica-

1. *Mechanical philosophy*, de Robison, éditée par Brewster.

tions d'où sortit enfin le type moderne de machine à vapeur, que le monde possède aujourd'hui.

Il nous dit[1] : « J'étais allé faire un tour par une belle après-midi de dimanche. J'étais entré sur le Green, par la porte qui se trouve au bas de la rue Charlotte, et j'avais dépassé l'ancien lavoir. Je pensais en ce moment à la machine et j'étais arrivé à la maison du berger, quand l'idée me vint que la vapeur, étant un fluide élastique, s'élancerait d'elle-même dans le vide; que si donc on faisait communiquer le cylindre avec un récipient vide, la vapeur se précipiterait dans celui-ci, et qu'on pourrait l'y condenser sans refroidir le cylindre. Je vis alors qu'il faudrait me débarrasser ensuite de la vapeur condensée et de l'eau d'injection, si j'employais un jet comme dans la machine de Newcomen. Deux méthodes se présentèrent à moi pour y parvenir. La première était de faire écouler l'eau par un tuyau descendant, si je pouvais trouver un exutoire à une profondeur d'au moins 35 ou 36 pieds, et d'enlever l'air au moyen d'une petite pompe. La seconde était de faire cette pompe assez grande pour enlever à la fois l'air et l'eau. Je n'avais pas encore dépassé la maison Golf que toute cette affaire était arrangée dans mon esprit. »

A propos de cette idée, Watt disait au professeur Jardine[2] :

« Si l'on y réfléchit, cette invention ne paraît pas aussi considérable qu'elle m'avait semblé. Dans l'état où j'avais trouvé la machine à vapeur, il ne fallait pas un grand effort d'imagination pour s'apercevoir que la quantité de combustible nécessaire pour la faire fonctionner, empêcherait toujours d'en tirer un grand avantage. Le pas à franchir ensuite dans la voie du progrès n'était pas plus difficile : chercher la cause de cette grande consommation de combustible. Je compris aussi promptement qu'elle provenait du charbon qu'on dépensait en pure perte, pour reporter, plus de 15 ou 20 fois par minute, le cylindre, le

1. *Reminiscences of James Watt,* Robert Hart; *Transactions of the Glasgow Archæological Society,* 1859.

2. *Lives of Boulton and Watt,* Smiles.

piston et les parties adjacentes, de la température de l'eau froide à celle de la vapeur. » C'est en poursuivant le cours de ces réflexions que Watt fut conduit à imaginer le condenseur séparé.

Dès le lundi matin, il se mit en devoir d'expérimenter sa nouvelle invention, en employant, pour cylindre à vapeur et piston, une grosse seringue en laiton de 1 3/4 pouce de diamètre et 10 pouces de long. A chaque extrémité était fixé un tube amenant la vapeur de la chaudière et muni d'un robinet faisant l'office de soupape. Un tube

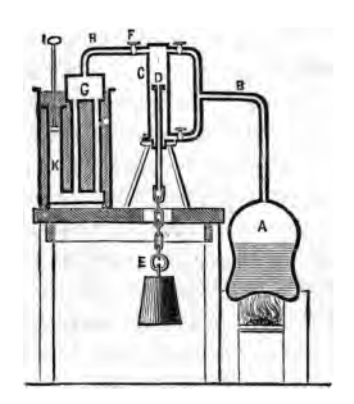


Fig. 28. — Expérience de Watt.

conduisait aussi du haut du cylindre au condenseur, la seringue ayant été placée la tige du piston en bas, pour plus de commodité. Le condenseur était représenté par deux tuyaux en étain mince, de 10 à 12 pouces de long et d'environ 1/6 de pouce de diamètre, placés verticalement et communiquant par leur partie supérieure avec un tube horizontal de plus grand diamètre, muni d'une « soupape reniflante ». Un autre tube vertical d'un pouce environ de diamètre, communiquant avec le condenseur et pourvu d'un piston, devait servir de « pompe à air ». Le tout était placé dans un réservoir d'eau froide. La tige du piston du petit cylindre à vapeur était forée d'un bout à l'autre pour permettre de faire sortir du cylindre l'eau qui pouvait s'y

former. Ce petit modèle, représenté (fig. 28), fonctionna très bien ; et la perfection du vide était telle que la machine soulevait un poids de 18 livres suspendu à la tige du piston, comme dans le dessin. Un modèle de plus grandes dimensions fut immédiatement construit et les résultats qu'il permit d'obtenir confirmèrent pleinement les espérances qu'avait fait naître la première expérience.

Après ce premier pas et ce perfectionnement capital, d'autres se succédèrent rapidement, comme une série de conséquences forcées de la première modification introduite dans la vieille machine de Newcomen. Mais la détermination complète des formes et des proportions de tous les détails de la nouvelle machine occupèrent pendant des années le puissant esprit de Watt, si bien pourvu qu'il fût de connaissances théoriques et pratiques heureusement combinées. En adoptant le condenseur séparé, il avait d'abord essayé de la condensation par surface; celle-ci ne réussissant pas, il y substitua l'injection. Il en résulta la nécessité immédiate d'imaginer un dispositif pour empêcher le condenseur de se remplir d'eau.

Watt essaya d'abord de l'expédient qui avait bien réussi avec la condensation moins efficace de la machine de Newcomen, et qui consistait à munir le condenseur d'un tuyau, descendant à une profondeur plus grande que la hauteur d'une colonne d'eau faisant équilibre à la pression atmosphérique; plus tard, il employa la pompe à air qui débarrasse le condenseur, non seulement de l'eau, mais de l'air qui s'y rassemble ordinairement aussi en quantité considérable, et qui nuit à la perfection du vide. Il substitua ensuite l'emploi de l'huile et du suif pour lubréfier le piston, à la couche d'eau qu'on maintenait au-dessus pour empêcher les fuites. Il évitait ainsi le refroidissement du cylindre, inhérent à l'emploi de ce procédé barbare. Watt découvrit encore une autre cause de refroidissement du cylindre et par conséquent de perte de force, dans l'entrée de l'air ambiant, qui suivait à chaque coup le piston jusqu'au fond du cylindre, et en refroidissait l'intérieur par son contact. L'inventeur imagina de faire disparaître ce

défaut en fermant le haut du cylindre par un couvercle, et faisant passer la tige du piston à travers une boîte à étoupes ou « stuffing-box » — procédé que connaissaient depuis longtemps les ouvriers.

Non seulement il couvrit le haut du cylindre, mais il entoura celui-ci tout entier d'une enveloppe extérieure ou « chemise de vapeur », et s'arrangea aussi pour que la vapeur passant autour du cylindre vînt presser sur la face supérieure du piston, où sa pression était variable à volonté et par conséquent plus facile à régler que celle de l'atmosphère. Cette vapeur, outre qu'elle maintenait le cylindre chaud, était moins nuisible que l'air en cas de fuite par le piston ; car on pouvait toujours s'en débarrasser promptement en la condensant.

Quand il eut décidé de construire le modèle de grandes dimensions qu'il voulait essayer, Watt, résolu à donner tout son temps et toute son attention à ce travail, loua une salle dans une vieille poterie abandonnée près du Broomielaw. Là, il travailla sans interruption pendant plusieurs semaines, avec un ouvrier nommé John Gardiner, qu'il avait pris à son service. Dans l'intervalle il avait fait, probablement par l'entremise de son ami le docteur Black, la connaissance du docteur Rœbuck, un riche médecin qui, de concert avec d'autres capitalistes écossais, venait de fonder la fameuse usine Carron. Il était entré en correspondance avec lui, et le tenait au courant des progrès que faisait la construction de la nouvelle machine.

Cette machine avait, nous dit Watt, un cylindre à vapeur de « 5 ou 6 » pouces de diamètre, et de 2 pieds de course. Il était en cuivre, martelé mais non alésé, et « pas très bien fait ». Ce cylindre était emboîté dans un autre en bois. Au mois d'août 1765, il essaya la petite machine et il écrivit au docteur Rœbuck qu'il avait eu « bonne réussite », quoique l'instrument fût très imparfait. « Quand on ouvrait l'échappement, le piston, s'il n'était pas chargé, montait avec la rapidité d'un coup de marteau; et quand il était chargé de 18 livres (soit 7 livres par pouce), il montait encore aussi vite qu'il l'eût fait avec l'emploi du système

ordinaire d'injection. » Il informe alors son correspondant qu'il était en train de faire le grand modèle. Celui-ci fut terminé en octobre 1765. La machine, lorsqu'elle fut prête à être essayée, était encore très imparfaite. Elle n'en fonctionna pas moins bien, pour un appareil aussi grossier.

Watt se trouvait alors réduit à la pauvreté ; et, après avoir emprunté à des amis des sommes considérables, il fut obligé finalement d'abandonner pour quelque temps ses projets et de chercher un emploi, afin de subvenir aux besoins de sa famille. Pendant environ deux ans, il gagna son pain en dressant des plans et dirigeant les explorations des terrains carbonifères dans le voisinage de Glasgow, pour le compte des autorités municipales. Il ne renonça pourtant pas entièrement à son invention.

En 1767, le docteur Rœbuck se chargea des dettes contractées par Watt, jusqu'à concurrence de 1,000 livres sterl. ; il s'engagea de plus à fournir le capital nécessaire pour continuer les expériences et faire adopter l'invention, tandis qu'en retour Watt consentait à céder au docteur les deux tiers de son brevet. Une autre machine fut alors construite, dont le cylindre avait 7 ou 8 pouces de diamètre, et qui fut terminée en 1768. Elle fonctionna d'une manière assez satisfaisante pour engager les associés à demander un brevet, dont les spécifications et dessins furent terminés et présentés en 1769.

Watt construisit aussi et installa plusieurs machines de Newcomen, sans doute pour se familiariser complètement avec les détails pratiques de la construction des machines. Pendant ce temps il avait préparé les plans et achevé enfin la fabrication, d'une machine assez grande de son nouveau type. Le cylindre avait 18 pouces de diamètre et le piston 5 pieds de course. Cette machine fut faite à Kinneil et terminée en septembre 1769. Ni la construction ni le fonctionnement n'en étaient entièrement satisfaisants. Le condenseur était à surface, composé de tuyaux à peu près semblables à ceux employés dans son premier petit modèle, et n'était pas suffisamment étanche. Le piston à vapeur aussi avait des fuites importantes, et des essais

répétés ne servirent qu'à en rendre les imperfections plus évidentes. Watt fut soutenu dans ce moment difficile par le docteur Black et le docteur Rœbuck; mais il sentait vivement les risques qu'il courait d'entraîner ses amis dans des pertes considérables, et il était complètement découragé. Écrivant au docteur Black, il lui disait : « De toutes les choses de cette vie, il n'y en a pas de plus folle que de faire des inventions »; et probablement la plupart des inventeurs ont été conduits par leur propre expérience à exprimer la même opinion.

« Un malheur ne vient jamais seul », et Watt fut accablé par le plus grand de tous — la perte d'une compagne fidèle et affectionnée — alors qu'il ne pouvait encore entrevoir un résultat heureux à ses recherches. Presque aussi désolante pour lui fut la ruine de son fidèle ami le Dr Rœbuck, et par conséquent la perte de son soutien. C'est à peu près dans ce temps, en 1769, que s'ouvrirent les négociations, qui eurent pour résultat le transfert des capitaux engagés dans la machine de Watt, au compte du riche manufacturier, dont le nom, joint à celui de l'inventeur, est devenu par la suite connu dans tout le monde civilisé; car c'est grâce à son énergie et à sa connaissance des affaires, que la machine à vapeur, sous sa forme nouvelle, finit par devenir d'un usage général.

Ce fut en 1768, dans le voyage qu'il fit à Londres pour obtenir son brevet, que Watt rencontra M. Boulton qui devint plus tard son associé. Celui-ci examina ses dessins, et comprenant immédiatement le mérite de l'invention, lui offrit d'acheter une part dans l'affaire. Watt ne pouvait alors répondre d'une façon définitive à ces ouvertures, à cause de ses conventions avec le Dr Rœbuck ; mais, avec le consentement de ce dernier, il proposa ensuite à Boulton d'entrer pour un tiers dans leur association, en payant à Rœbuck une moitié de toutes les dépenses précédemment faites, et en outre, ce qu'il jugerait à propos d'ajouter comme compensation « du risque qu'il avait couru ». Plus tard le Dr Rœbuck offrit de céder à Boulton et au Dr Small, qui désirait prendre un intérêt avec lui, une moitié de ses

droits de propriété sur les inventions de Watt. Rœbuck devait recevoir en échange « une somme qui ne pourrait être inférieure à 1,000 livres » et dont le taux serait fixé à ce qui semblerait « juste et raisonnable » après l'achèvement des expériences sur la machine. Une année était accordée pour le règlement des comptes. Cette proposition fut acceptée en novembre 1769.

Matthew Boulton, qui devint alors l'associé de James Watt, était le fils d'un fabricant d'argenterie de Birmingham, et avait pris la suite des affaires de son père. Il avait organisé un vaste établissement qui, dans ce temps, était bien connu, ainsi que son propriétaire. Watt, écrivant au Dr Rœbuck avant que les conventions définitives n'eussent été faites, le pressait de traiter avec Boulton pour les motifs suivants : « 1° à cause de la réputation, qu'a M. Boulton, d'homme intelligent, honnête et riche; 2° parce qu'il serait difficile et coûteux de se procurer des ouvriers honnêtes et soigneux, de les pourvoir des outils convenables, et de trouver un ou plusieurs surveillants dignes de confiance : si, pour éviter cet inconvénient, vous traitiez de l'exécution du travail avec un maître-ouvrier, il vous faudrait abandonner une grande part des bénéfices; 3° le succès de la machine est loin d'être certain : si M. Boulton accepte sa chance de gain, calculée d'après le rapport que j'enverrai au Dr Small, et vous paye une part proportionnelle de l'argent dépensé, il diminue vos risques, et, dans une bien plus grande proportion qu'il ne diminuera, je crois, vos bénéfices; 4° l'assistance de l'esprit ingénieux de M. Boulton et du Dr Small (si ce dernier s'engage dans l'affaire) peut nous être d'une grande utilité dans le perfectionnement de la machine, et elle peut nous permettre de surmonter des difficultés devant lesquelles, sans cela, nous pourrions succomber. Enfin, réfléchissez à l'état incertain de ma santé, à mon caractère irrésolu et sans activité, à mon peu d'aptitude à conclure des marchés et à débattre mes intérêts avec autrui : toutes choses qui me rendent impropre à toute grande entreprise. De notre côté, considérez la première mise de fonds et les intérêts, le brevet, la machine actuelle qui vaut environ 200 livres (quoiqu'il

n'en coûterait pas beaucoup pour la transformer en machine ordinaire), deux années de mon temps et les frais des modèles. »

L'estime que Watt professait pour les talents et les connaissances de Boulton était bien fondée. Cet industriel s'était montré bon élève à l'école, et après l'avoir quittée de bonne heure pour la boutique de son père, il avait encore acquis



Fig. 29. — Matthew Boulton.

une instruction très étendue dans les langues étrangères et les sciences, surtout en mathématiques. Une fois à la tête de son industrie, il y apporta un grand nombre d'utiles perfectionnements, et il était toujours à l'affût des progrès réalisés par les autres pour les introduire chez lui. C'était un homme du type moderne, qui ne se laissait jamais surpasser par ses concurrents sous aucun rapport, sans faire les efforts les plus énergiques pour regagner le premier rang. Il visait toujours autant à la bonne réputation de ses produits qu'à gagner de l'argent. L'atelier de son père était à Birmin-

gham; mais Boulton ne tarda pas à voir que l'extension rapide de ses affaires le forcerait à chercher un emplacement, pour y construire un établissement plus vaste; il se procura un terrain à Soho, à 2 milles de Birmingham, et y fit élever sa nouvelle manufacture vers 1762.

Son industrie se bornait d'abord à la fabrication d'objets d'ornement en métal, tels que boutons, boucles, chaînes de montre, filigranes et travaux d'incrustation. Bientôt il y ajouta la fabrication du plaqué d'or et d'argent, et cette branche de son commerce se développa peu à peu, jusqu'à constituer une production très considérable d'œuvres d'art. Boulton copiait celles-ci partout où il les rencontrait, et souvent empruntait des vases, des statuettes et des bronzes de toute espèce, à la noblesse d'Angleterre et même à la reine, pour en faire des copies. La fabrication de ces horloges à bon marché, connues aujourd'hui dans le monde entier comme un article essentiellement américain, fut commencée par Boulton. Il fit aussi quelques belles horloges astronomiques et d'ornement qui furent mieux appréciées sur le continent qu'en Angleterre. La manufacture de Soho devint en peu d'années tellement considérable, que ses produits furent bientôt connus de toutes les nations civilisées. Sous la direction de l'entreprenant, consciencieux et ingénieux Boulton, l'accroissement des affaires fut quelquefois plus rapide que celui des capitaux, et le propriétaire se trouva souvent, par sa prospérité même, contraint de veiller de très près à l'emploi de ses fonds, et obligé de faire largement appel à son crédit.

Boulton avait un talent tout particulier pour se créer des relations utiles et pour en tirer le meilleur parti possible. En 1758, il fit la connaissance de Benjamin Franklin, qui visita Soho à cette époque; et, en 1766, ces hommes distingués, auxquels l'existence de Watt était encore inconnue, correspondaient ensemble et discutaient dans leurs lettres la possibilité d'appliquer la vapeur à divers usages. Ils avaient à eux deux imaginé une nouvelle machine, dont un modèle fut construit par Boulton et envoyé à Franklin qui l'exposa à Londres.

Le Dr Darwin semble avoir été quelque peu mêlé à cette affaire, et l'enthousiasme, éveillé en lui par les espérances de succès qu'avait données ce modèle, peut bien avoir été l'origine des vers prophétiques, aujourd'hui célèbres et si souvent cités, qu'on trouve dans les poésies de ce médecin excentrique. Franklin avait fourni pour sa part l'idée de disposer la grille de façon à empêcher la production de la fumée. Il dit : « Il suffirait pour cela d'obliger la fumée du charbon frais à passer en descendant à travers le charbon en ignition. » Son idée a été proposée plus d'une fois comme nouvelle par des inventeurs plus modernes. Ces expériences de Boulton, Franklin et Darwin n'eurent pourtant aucune suite, et le système de Watt fit bientôt abandonner tous les autres.

En 1767, Watt visita Soho et examina soigneusement l'établissement de Boulton. L'admirable disposition des ateliers et leur outillage si complet firent sur lui une impression très favorable, qu'accrut encore la perfection de l'organisation administrative. L'année suivante, il y revint et cette fois rencontra Boulton qui était absent lors de sa précédente visite. Les deux grands mécaniciens furent également heureux de se voir, et chacun d'eux inspira immédiatement à l'autre le plus grand respect et la plus haute estime. Ils discutèrent le plan de Watt, et Boulton se résolut alors définitivement à abandonner ses propres essais, quoiqu'il eût commencé déjà la construction d'une machine d'épuisement. Avec le Dr Small, qui se trouvait aussi à Soho, Watt discuta la possibilité d'appliquer sa machine à la propulsion des voitures et à d'autres usages. De retour chez lui, il continua, sur ses machines, les travaux un peu décousus dont nous avons parlé; et la conclusion finale de l'arrangement avec Boulton, qui suivit immédiatement la faillite du Dr Rœbuck, eut lieu quelque temps après.

Avant de quitter l'Écosse pour aller rejoindre son associé à Soho, Watt fut obligé de terminer les travaux dont il était chargé, tels que le lever topographique du canal Calédonien et autres petits ouvrages qu'il avait entrepris depuis quelques mois. Il se rendit à Birmingham au prin-

temps de 1774, et fixa tout de suite son domicile à Soho, où il se mit à travailler aux machines inachevées, envoyées d'Écosse quelque temps auparavant. Elles étaient restées trois ans à Kinneil, en plein air et sans emploi, et n'étaient pas en aussi bon ordre qu'on eût pu le désirer. Le cylindre à vapeur, fait en *étain brut*, était probablement en bon état ; mais les parties en fer « périssaient », comme dit Watt, pendant qu'il était occupé à son travail d'ingénieur civil. Pourtant, dans les moments de loisir qu'il avait eus pendant cette période, Watt n'avait pas entièrement négligé ses projets sur l'emploi de la vapeur. Il avait consacré un peu de temps et beaucoup de réflexions à des expériences sur une machine rotative ou à « roue ». Il ne réussit pas à trouver de procédé ayant chance de succès.

Ce fut en novembre 1774, que Watt annonça définitivement à son vieil associé, le Dr Rœbuck, les bons résultats des essais de la machine de Kinneil. Il n'écrivait pas avec l'enthousiasme et la fougue des inventeurs, car ses nombreuses déceptions et l'incertitude où il avait été si longtemps avaient complètement éteint son ardeur. Il disait simplement : « La machine à feu que j'ai inventée fonctionne maintenant, et donne des résultats bien plus satisfaisants que toutes celles qu'on ait encore faites; j'espère que cette invention me rapportera de très grands bénéfices. »

La transformation de la « machine atmosphérique » de Newcomen, dans la machine à vapeur moderne, était maintenant achevée quant aux détails essentiels. La première machine qui fut établie à Kinneil, près de Boroughstoness, avait un cylindre de 18 pouces de diamètre. Le dessin ci-dessous la représente.

La vapeur arrive de la chaudière par le tube *d* et la soupape *c* (fig. 30); elle pénètre dans l'enveloppe du cylindre ou chemise de vapeur YY; puis elle entre dans le cylindre *a*, et, pesant sur le piston, elle le force à descendre, la soupape *f* étant à ce moment ouverte, pour permettre l'échappement au condenseur *h*.

Le piston étant arrivé au bas de sa course, la maîtresse-

tige des pompes, suspendue à l'autre extrémité du balancier, est par conséquent soulevée et les pompes remplies d'eau; les soupapes *c* et *f* se ferment pendant que *e* s'ouvre, et la vapeur qui est au-dessus du piston passe au-dessous; les pressions devenant égales de part et d'autre, le poids de la

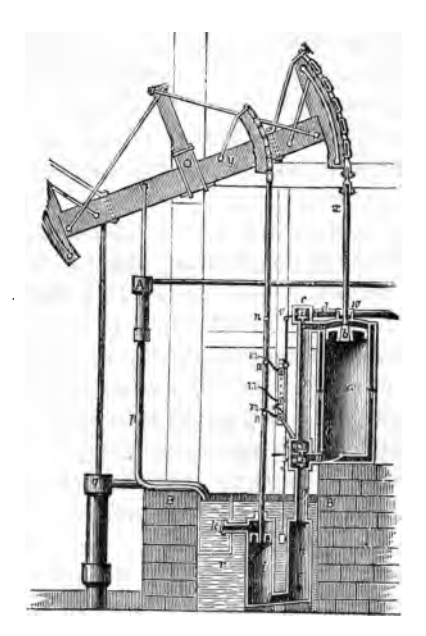


Fig. 30. — Machine de Watt, 1774.

maîtresse-tige, qui surpasse celui du piston, fait rapidement monter ce dernier vers le haut du cylindre, pendant que la vapeur est chassée du dessus et passe à la face inférieure du piston. La soupape *e* se ferme ensuite, *c* et *f* s'ouvrent de nouveau; la descente recommence.

L'eau et l'air qui pénètrent dans le condenseur sont enlevés à chaque coup par la pompe à air *i*, qui communique avec le condenseur par le conduit *s*. La pompe *q* fournit l'eau froide, et la pompe A enlève une partie de l'eau de condensation, que la pompe à air envoie dans la *bâche à eau chaude k*, d'où la pompe d'alimentation l'amène à la

chaudière. Les soupapes sont manœuvrées par un dispositif très analogue à celui de Beighton et de Smeaton, au moyen des taquets *m*, *m*, portés par la tige à chevilles ou *poutrelle nn*.

La machine est établie sur une fondation solide BB; F est une ouverture par où l'on chasse, avant la mise en train de la machine, l'air du cylindre et du condenseur.

Les inventions couvertes par le brevet de 1769, furent décrites comme il suit :

« Ma méthode pour diminuer la dépense de vapeur et, par suite, de combustible, dans les machines à feu, est basée sur les principes suivants :

« 1° Il faut que le récipient dans lequel la puissance de la vapeur doit être employée à faire marcher la machine, — récipient qu'on appelle *le cylindre* dans les machines à feu ordinaires, et que j'appelle le *vaisseau à vapeur* — soit, pendant tout le temps que la machine fonctionne, maintenu aussi chaud que la vapeur qui y entre : pour cela, je l'enferme d'abord dans une enveloppe de bois, ou de quelque autre matière conduisant mal la chaleur; secondement je l'entoure de vapeur ou d'autres corps échauffés; et troisièmement je ne laisse ni eau ni autre substance plus froide que la vapeur y pénétrer ou le toucher pendant ce temps.

« 2° Dans des machines qui doivent fonctionner totalement ou en partie par la condensation de la vapeur, il faut que celle-ci soit condensée dans des récipients distincts du vaisseau à vapeur ou cylindre, quoique communiquant en temps voulu avec lui. J'appelle ces récipients des *condenseurs;* et, pendant que la machine fonctionne, ces condenseurs doivent être maintenus au moins aussi froids que l'air avoisinant la machine, par l'application d'eau ou d'autres corps froids.

« 3° Tout air ou autre fluide élastique, qui n'est pas condensé par le froid du condenseur et peut entraver la marche de la machine, doit être enlevé des récipients à vapeur ou condenseurs, au moyen d'une pompe manœuvrée par la machine elle-même ou autrement.

« 4° Je me propose d'employer, dans bien des cas, la

force expansive de la vapeur, pour presser sur les pistons, ou tout autre organe qui peut être employé à leur place, de la même manière que la pression atmosphérique est employée maintenant dans les machines à feu ordinaires. Dans les cas où l'on ne peut se procurer de l'eau froide en abondance, les machines peuvent être mues par cette force de la vapeur seulement, celle-ci s'échappant à l'air libre après qu'elle a fait son office.

« 5° S'il s'agit d'obtenir des mouvements de rotation autour d'un axe, je fais les vaisseaux à vapeur en forme d'anneaux creux ou canaux circulaires, avec entrées et sorties convenablement disposées pour la vapeur et je les monte sur des axes horizontaux, comme les roues d'un moulin à eau. A l'intérieur de ces canaux sont placées un certain nombre de valves, qui ne permettent la circulation d'un corps quelconque que dans un seul sens. Ces vaisseaux à vapeur contiennent des poids, agencés de façon à remplir une partie du canal, et cependant capables de s'y mouvoir librement par les moyens ci-après spécifiés ou mentionnés. Lorque la vapeur est admise dans ces machines, entre ces poids et les valves, elle agit également sur les deux, de manière à soulever le poids sur un côté de la roue, et, à donner, par la réaction des valves successives, un mouvement circulaire à celle-ci; les valves s'ouvrant dans le sens de la pression qui agit sur les poids et non dans le sens contraire. A mesure que le vaisseau tourne, la chaudière lui fournit la vapeur nécessaire, qui, après avoir rempli son office, peut s'écouler dans un condenseur ou à l'air libre.

« 6° Je me propose de n'employer dans certains cas qu'un degré de froid insuffisant pour condenser la vapeur, mais pouvant la contracter considérablement, de manière que le mouvement des machines soit produit par l'expansion et la contraction alternatives de la vapeur.

« Enfin, au lieu d'avoir recours à l'eau, pour empêcher le piston ou d'autres parties de la machine de laisser passer l'air ou la vapeur, je me sers d'huile, de cire, de matières résineuses, de graisse animale, vif argent et autres métaux à l'état liquide. »

qu'on sut qu'il avait un intérêt dans une machine destinée à l'élévation des eaux. Les possesseurs de mines, sur le point de s'en voir chassés par l'inondation des galeries, les propriétaires dont les bénéfices étaient absorbés par les frais d'épuisement, consentaient avec joie au payement du droit annuel de 5 liv. sterl. par cheval, qu'on avait définitivement établi. La direction du service municipal des eaux de Londres était prête aussi à négocier, pour se procurer les machines nécessaires à l'élévation de l'eau destinée à l'approvisionnement de la métropole. La maison nouvelle dut par conséquent se préparer immédiatement pour une fabrication très considérable.

La première chose à faire toutefois, et la plus importante, était de s'assurer le renouvellement du brevet qui était sur le point d'expirer. Faute de quoi, les quinze années d'études et de peine, de pauvreté et d'anxiétés, que Watt avait si laborieusement passées, eussent été sans profit pour l'inventeur; les fruits de son génie fussent tombés dans des mains indignes. Un moment Watt, désespérant presque d'obtenir l'acte du Parlement qui lui était indispensable, fut vivement tenté d'accepter une position que lui offrait le gouvernement russe, à la sollicitation de son vieil ami le Dr Robison, devenu professeur de mathématiques à l'École navale de Cronstadt. Les appointements étaient de 1,000 liv. sterl., un revenu princier pour un homme dans la situation de Watt, et une bien forte tentation pour un artisan besoigneux.

Néanmoins Watt se rendit à Londres, et grâce à l'influence de ses amis et de ceux de Boulton, il réussit à obtenir le bill si désiré. Son brevet fut prolongé de vingt-quatre ans, et la maison Boulton et Watt entreprit l'œuvre de la vulgarisation de ses machines, avec l'habileté et l'énergie qui caractérisaient tous ses actes.

Dans la nouvelle Société, Boulton se chargea des affaires générales, tandis que Watt avait la haute main sur les plans, la construction et l'installation des machines. La capacité commerciale de Boulton, unie à la merveilleuse habileté mécanique de Watt, la robuste santé du premier,

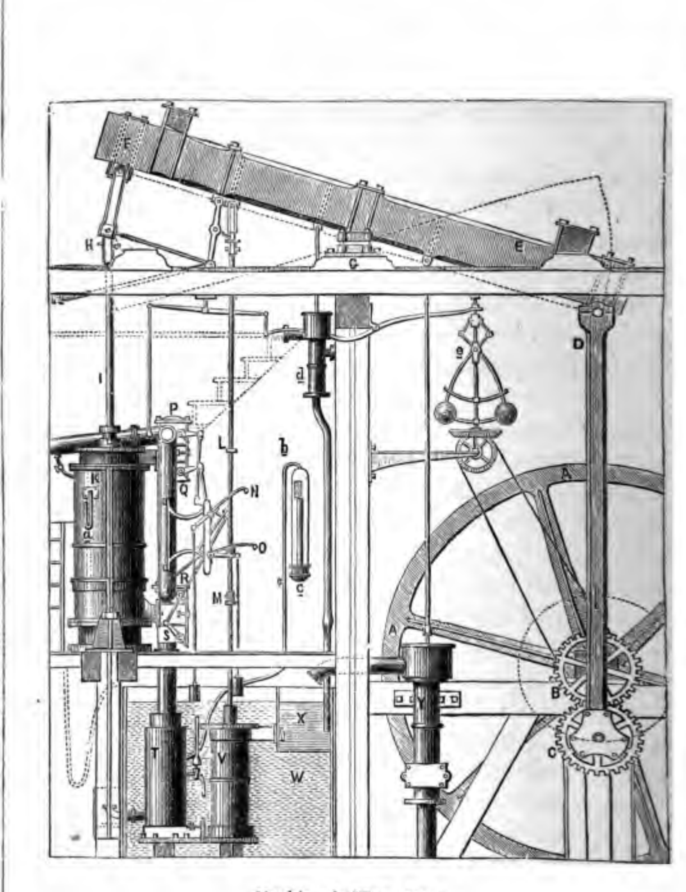
sa vigueur et son courage, compensant la santé chétive et l'abattement du second, et par-dessus tout, les ressources pécuniaires que Boulton puisait, tant dans la bourse de ses amis que dans la sienne, permirent à la maison de surmonter toutes les difficultés financières, judiciaires ou industrielles.

Ce fut seulement après avoir établi et fait fonctionner avec succès plusieurs machines, que Watt et Boulton devinrent légalement associés. L'arrangement conclu entre eux attribuait explicitement à Boulton les 2/3 des droits du brevet; il payait tous les frais; il faisait l'avance du fonds de commerce, dûment estimé et dont il devait retirer intérêt; Watt établissait tous les plans et dessins, et gardait pour sa part 1/3 des bénéfices nets.

Aussitôt que Watt fut tiré d'inquiétude à l'endroit de ses affaires commerciales, il épousa une seconde femme qui, comme le dit Arago, « par la variété des talents, par la sûreté de jugement, par la force de caractère », était la digne compagne de l'ingénieur, dont le cœur était aussi largement ouvert que le cerveau. Depuis lors ses soucis ne furent plus que ceux auxquels tout homme d'affaire doit s'attendre ; et les dix années suivantes furent les plus fertiles en inventions de toute l'existence de Watt.

De 1775 à 1785 les associés acquirent cinq brevets, pour un grand nombre de perfectionnements utiles à la machine à vapeur, et pour plusieurs inventions spéciales. Le premier de ces brevets garantissait l'invention, aujourd'hui connue de tous et d'un usage vulgaire, de la presse à copier, et celle d'une machine pour sécher le drap, en le faisant passer entre deux cylindres de cuivre remplis de vapeur, à une température suffisamment élevée pour faire rapidement disparaître l'humidité. Ce brevet fut délivré le 14 février 1780.

L'année suivante, le 25 octobre 1781, Watt fit breveter cinq méthodes par lesquelles il obtenait le mouvement rotatif de l'arbre de la machine sans l'emploi d'une manivelle. Un de ces dispositifs était celui qu'on voit pl. III, et qui est connu sous le nom de système *solaire et planétaire*. L'arbre porte une roue dentée engrenant dans une autre



Machine de Watt, 1781.

d'hui. On pourrait obtenir un peu plus du double de l'effet utile, mais il faudrait augmenter par trop les dimensions des vaisseaux, pour utiliser entièrement cette force. Cette méthode est particulièrement applicable aux machines rotatives, et peut suppléer au condenseur là où l'on n'emploie que la pression directe de la vapeur ; car, ouvrez une des valves, et admettez la vapeur jusqu'à ce qu'elle ait

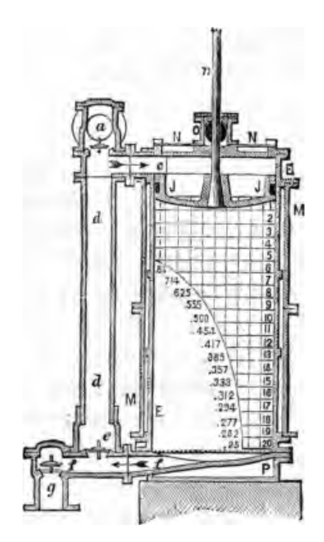


Fig. 31. — Détente de la vapeur.

rempli le quart de la distance entre cette valve et la suivante ; puis fermez la valve : la vapeur continue à se détendre et à parcourir la roue avec une pression décroissante, qui finira par n'être plus que le quart de ce qu'elle était d'abord. Vous trouverez que la somme de cette série d'efforts décroissants est plus grande que 1/2, quoique la quantité de vapeur dépensée, soit réduite à 1/4. L'action, il est vrai, sera irrégulière, mais on peut remédier à ce défaut par un volant ou de diverses autres manières. »

On remarquera que Watt propose ci-dessus la machine sans condensation, maintenant bien connue. Il l'avait déjà,

comme on l'a vu, décrite dans son brevet de 1769, ainsi que la machine rotative.

Farey fait comprendre clairement l'idée et l'explication de Watt, par un dessin analogue à celui donné ci-dessus (fig. 31).

La vapeur, entrant dans le cylindre en *a*, y est admise jusqu'à ce que le piston ait fait le 1/4 de sa course ; la soupape d'admission est alors fermée, et le reste de la course s'accomplit sans l'intervention de vapeur nouvelle. La pression varie à peu près en raison inverse du volume de la vapeur. Ainsi, quand le piston est à mi-course, la pression est devenue la moitié de ce qu'elle était quand la vapeur pénétrait librement dans le cylindre; à la fin de la course elle n'est plus que 1/4 de la pression initiale; à un instant quelconque, la pression est sensiblement égale au produit de la pression par le volume à l'admission, divisé par le volume occupé à l'instant que l'on considère :

$$P' = \frac{PV}{V'}.$$

Il est vrai que la condensation de la vapeur pendant la détente modifie notablement cette loi; mais la condensation et la vaporisation successives, dues à l'absorption et à la restitution de chaleur par le métal du cylindre, tendent à compenser cette différence. La figure ci-dessus, montre cette variation progressive de la pression à mesure que la vapeur se détend. On voit que le travail développé, par unité de volume de vapeur prise à la chaudière, est beaucoup plus considérable que lorsque le travail est produit sans détente. Le produit de la pression moyenne par le volume du cylindre est moindre; mais le quotient obtenu en divisant cette quantité par le volume ou poids de vapeur fournie par la chaudière, est beaucoup plus grand que si l'on n'emploie pas la détente. Dans le cas supposé et représenté, le travail fait pendant la période d'expansion est égal aux 7/5 du travail accompli avant l'interruption de l'entrée de la vapeur; et le travail total par livre de vapeur est 2, 4 fois aussi grand que celui obtenu sans détente.

N'étaient les pertes inévitables, qu'accroît encore l'usage

de la détente, le gain de force obtenu avec une expansion modérée pourrait être très considérable; au point qu'en supprimant l'arrivée de vapeur quand le piston n'est qu'au 1/7 de sa course, on pourrait obtenir un travail double de celui qu'elle produit en « accompagnant » le piston jusqu'au bout du cylindre. Toutefois il est impossible de réaliser pratiquement ce gain théorique. Au delà d'un certain point, variable et déterminé par les conditions spéciales de chaque cas, les pertes par frottement, par conductibilité et rayonnement, par condensation et évaporation dans le cylindre, — ces dernières sont les plus sérieuses, — augmentent beaucoup plus vite que le bénéfice procuré par détente.

Dans la pratique, sauf les cas où des précautions particulières sont prises pour atténuer les pertes, il est rare qu'il y ait économie à pousser la détente, au-delà du nombre représenté par la demi-racine carrée de la pression en livres par pouce carré[1]; c'est-à-dire à 2 pour une pression de 15 à 20 livres, à 3 pour 30 livres, 4 pour des pressions de 60 à 65, et 5 pour celles de 100 à 125 livres. Watt eut bientôt découvert ce principe général; mais ni lui, ni même beaucoup d'ingénieurs modernes, ne semblent avoir compris qu'une détente exagérée ne donne souvent qu'une économie très minime.

L'inégalité de pression, mentionnée par Watt comme une conséquence de la détente, lui causa beaucoup de préoccupations; il fut longtemps convaincu qu'il fallait trouver quelque moyen « d'égaliser » l'effort irrégulier, de la vapeur sur le piston. Les différentes méthodes « pour égaliser la force expansive », dont il est question dans le brevet, étaient des tentatives pour obtenir ce résultat. L'une consistait à déplacer le centre d'oscillation, pendant le mouvement du balancier, de manière à changer ainsi les longueurs des bras de ce levier, ce qui devait compenser la variation du moment, produite par celle de la pression. Finalement il conclut qu'un volant, tel que l'avait d'abord pro-

1. Soit à peu près deux fois la racine carrée de la pression exprimée en atmosphères. *(N. du trad.)*

posé Fitzgerald, qui en conseilla l'emploi dans la machine de Papin, serait encore le meilleur dispositif, pour les machines agissant sur une manivelle; et dans celles qui servaient à l'élévation des eaux, il s'en reposa sur l'inertie d'un contre-poids ou même du poids seulement de la maîtresse-tige commandant les pompes, laissant le piston marcher librement dans les limites de vitesse où il se trouvait ainsi maintenu.

La machine à double effet ne fut qu'une modification de celle à action simple; et la construction en fut bientôt résolue, dès que le succès du fonctionnement de cette dernière fut assuré.

Watt avait fermé par un couvercle le haut du cylindre de sa machine à simple effet, pour empêcher le refroidissement du cylindre par le contact de l'air extérieur relativement froid; il ne restait plus qu'un pas à faire pour arriver au double effet.

Cette modification, qui devait permettre à la vapeur d'agir alternativement sur les deux faces du piston, avait été proposée par Watt dès 1767; et un dessin de la machine ainsi disposée fut soumis à une Commission de la Chambre des Communes en 1774-75. Par ce simple changement, Watt avait doublé la puissance de sa machine. Il avait inventé ce système depuis longtemps déjà; mais il ne le fit breveter que lorsqu'il y fut forcé, comme il dit, par les « plagiaires et les pirates » toujours prêts à profiter de ses découvertes. Cette forme de la machine est maintenant presque exclusivement employée partout. La machine élévatoire à simple effet n'est restée en usage que dans le Cornouailles et dans quelques autres localités. De temps à autre on construit encore, pour certains usages, des machines où la vapeur n'agit que sur une face de piston; mais ce sont là de rares exceptions à la règle générale.

L'invention suivante de Watt n'est pas moins intéressante. La machine « compound », ou à double cylindre, est aujourd'hui, à un siècle d'intervalle, devenue un type important et très répandu. Il est impossible d'établir avec précision à qui l'on doit attribuer le mérite de la conception

première. En 1779, le Dr Falk avait proposé une machine à double effet, dans laquelle il y avait deux cylindres à effet simple, agissant alternativement et en sens opposé, sur les deux côtés d'une roue, avec laquelle engrenait une crémaillère portée par la tige du piston.

Watt prétendit que Hornblower, concessionnaire du brevet pour la « machine compound », était un contrefacteur de ses propres brevets; et comme il possédait seul celui du condenseur séparé, il put empêcher la machine de son concurrent de prendre une forme capable d'être introduite avec succès dans la pratique. La machine de Hornblower fut bientôt abandonnée.

Watt affirma que ce dispositif avait été inventé par lui dès 1767, et qu'il en avait expliqué les détails à Smeaton et à d'autres, plusieurs années avant que Hornblower essayât d'en faire usage. Il écrivait à Boulton : « C'est précisément notre machine à double cylindre, fonctionnant d'après notre principe de la détente. » Toutefois il n'appliqua jamais ce système; et le but principal qu'il avait en vue en le faisant breveter, comme beaucoup d'autres, était probablement de se donner une garantie contre la concurrence.

La crémaillère et le secteur, brevetés à cette époque, furent bientôt remplacés par le parallélogramme articulé; et le dernier objet garanti par le brevet, la « roue à vapeur », ou machine rotative, dont un spécimen de grandes dimensions fut pourtant construit, ne put passer dans la pratique.

Après avoir obtenu le brevet de 1782, Watt, lorsqu'il n'était pas trop dérangé par les affaires, s'occupa d'autres projets et essaya encore diverses modifications et applications de sa machine. Il avait, dès 1777, proposé de faire un marteau à vapeur pour la forge de Wilkinson; mais son attention fut tellement absorbée par d'autres questions plus importantes, qu'il ne put se mettre sérieusement à cette étude avant la fin de 1782. Le 13 décembre de cette année, après quelques expériences préliminaires, il écrivait : « Nous avons essayé avec succès, à Soho, notre petit marteau de forge. Voici quelques détails sur l'appareil : le cylindre a 15 pouces de diamètre, le piston 4 pieds de course et il

donne 20 coups à la minute. La tête du marteau pèse 120 livres, s'élève à 8 pouces et frappe 240 coups dans le même laps de temps. La machine marche très régulièrement et peut être conduite aussi facilement qu'un moulin à eau. Elle ne consomme qu'une très petite quantité de vapeur, pas plus de la moitié du volume du cylindre, à chaque coup de piston. La force employée ne dépasse pas le quart de celle qu'il faudrait pour fournir la quantité d'eau nécessaire à une roue hydraulique, capable de faire agir le même marteau avec la même vitesse ».

Il se mit aussitôt à construire un marteau beaucoup plus puissant, et, le 26 avril 1783, il écrivait qu'il avait fait « une chose qu'on n'avait jamais faite auparavant », en obtenant de son marteau 300 coups par minute. Ce marteau pesait 7 quintaux et demi et avait une hauteur de chute de 2 pieds. Le cylindre à vapeur avait un diamètre de 42 pouces et 6 pieds de course de piston ; on calculait qu'il avait une force suffisante pour faire agir 4 marteaux de 7 quintaux chacun. La machine donnait 20 coups de piston par minute, et le marteau en frappait 90 dans le même temps.

Cette nouvelle application de la force motrice de la vapeur ayant réussi, Watt commença à combiner une série d'inventions secondaires, qui furent définitivement garanties par son brevet du 27 avril 1784, en même temps que le marteau de forge à vapeur et une voiture à vapeur ou « machine locomotive ».

Le dispositif d'abord employé pour guider la tête de la tige du piston — secteur et chaîne ou crémaillère — n'avait jamais donné de résultats satisfaisants. La grossièreté du système n'avait d'égale que l'incertitude de son fonctionnement. Watt imagina donc, pour arriver au même but, un grand nombre de méthodes, dont la plus belle et la plus connue est le « parallélogramme articulé » ; néanmoins aujourd'hui on recourt plutôt à la traverse avec glissières, système mentionné au même brevet. A l'origine, la combinaison du parallélogramme consistait en une tige articulée, vers son milieu, au sommet de celle du piston, et qui se trouvait ver-

ticale quand celui-ci était au quart de sa course. L'extrémité supérieure de cette tige s'attachait au bout du balancier, et son extrémité inférieure à celle d'une tringle horizontale d'une longueur égale à la moitié de ce balancier. L'autre bout de cette tringle était rattaché à la charpente de la machine. Quand le piston montait et descendait, les deux extrémités de la tige verticale, reliées au balancier et à la tringle horizontale, s'écartaient de quantités égales de part et d'autre de la verticale; le point milieu, où était attachée la tige du piston, restait donc sur cette verticale. Ce système avait l'inconvénient que tout l'effort de la machine était transmis par l'intermédiaire des tiges du parallélogramme. Une autre disposition, représentée dans le croquis de la machine à double effet donné plus loin (fig. 34) n'a pas cet inconvénient. La tête de la tige du piston *g* est guidée par des tringles qui la relient à la charpente *c*, et forment un parallélogramme *gdeb* avec le balancier. Bien d'autres variétés de « mouvement parallèle » ont été imaginées depuis le jour où Watt appliqua son invention aux machines de Soho. Elles sont toutes plus ou moins imparfaites, en ce qu'elles ne font parcourir à la tige du piston qu'une ligne à peu près droite.

La traverse avec glissières, aujourd'hui d'un usage général, est constituée à peu près telle que Watt la décrivait dans son brevet, comme son « second principe ». On en trouvera la représentation dans les figures données ci-après de machines plus modernes. La tige du piston s'assemble dans une barre transversale, ou crosse, munie à ses deux extrémités de pièces convenablement disposées, portant des patins guidés par des glissières fixées au bâti de la machine. Ces glissières sont exactement parallèles à l'axe du cylindre. La crosse, glissant entre elles, se meut en ligne parfaitement droite, et la tige du piston se trouve ainsi plus rigoureusement guidée qu'au moyen d'un parallélogramme. Ce dispositif, quand il est convenablement organisé, n'entraîne pas nécessairement de grands frottements; et il est plus facile à ajuster et à remettre en place que le parallélogramme, quand les pièces s'usent ou qu'il y a des défauts de montage.

Par le même brevet, Watt s'assurait l'invention de la soupape à tige (*puppet-valve*) avec portées en biseau, et l'application de la machine à vapeur aux laminoirs et aux marteaux de forges, ainsi « qu'aux voitures à roues pour transporter les personnes, marchandises ou autres objets, d'un point à un autre ». Pour ce dernier cas, il propose d'employer des chaudières « de bois ou de métal mince, fortement consolidées par des cercles ou autrement » et contenant des « boîtes à feu intérieures ». Il proposait aussi l'emploi d'un condenseur refroidi par des courants d'air.

La place nous manque pour suivre Watt dans tous ses projets pour le perfectionnement et l'application de la machine à vapeur. Il faut nous borner à décrire quelques-uns des plus importants et des plus ingénieux. La plupart des contrats que passaient Boulton et Watt leur assuraient, pour prix de leurs machines, une fraction — habituellement un tiers — de la valeur du combustible économisé par la substitution de la machine de Watt à celle de Newcomen ; le montant de cette redevance devant être payé annuellement ou par semestre, et l'acheteur conservant la faculté de s'en libérer d'un seul coup au bout de dix ans. Ce genre de marché obligeait à déterminer souvent, et avec précision, le travail fait et le combustible dépensé, tant par la nouvelle machine que par celle dont elle prenait la place. Il était impossible de s'en rapporter pour cela à l'observation pure et simple du nombre de coups de piston fournis. Watt imagina donc « un compteur » semblable à ceux pour le mesurage du gaz, que tout le monde connaît aujourd'hui. C'est, comme on sait, une série de roues faisant mouvoir des aiguilles sur divers cadrans, dont le premier marque les dizaines, le deuxième les centaines, le troisième les milliers, etc., de coups de piston ou de tours. Le mouvement était communiqué à ce mécanisme par le moyen d'un pendule monté sur le balancier, dont il répétait les oscillations. On employait quelquefois 8 cadrans; le compteur, fixé à demeure et fermé à clef, ne s'ouvrait qu'une fois par an, quand il s'agissait de relever le travail exécuté pendant les douze mois précédents.

L'application de la nouvelle machine à des travaux pour lesquels une vitesse très régulière était indispensable, conduisit Watt à disposer, dans le tuyau d'admission de vapeur, une soupape de réglage ou « soupape à gorge » qu'on manœuvrait à la main et qui permettait de régler, à tout moment et au degré voulu, la quantité de vapeur envoyée à la machine. On donne aujourd'hui à cette soupape bien des formes diverses, mais elle est encore faite le plus souvent comme Watt l'avait disposée à l'origine.

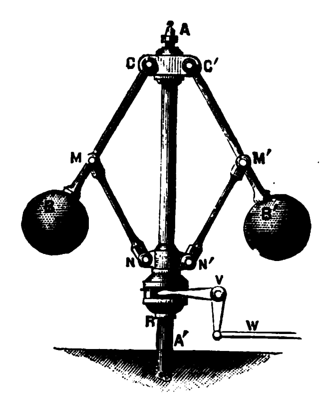


Fig. 32. — Le gouverneur (régulateur).

C'est, ou un disque circulaire qui ferme exactement le tuyau quand il est placé perpendiculairement à sa longueur, ou un disque elliptique qui intercepte la communication quand il se trouve faire, avec l'axe du tube, un angle d'un peu moins de 90°. Ce disque est monté sur un pivot, qui traverse le tuyau de part en part et porte extérieurement, à l'une de ses extrémités, un bras de levier, qui permet de le placer dans une position quelconque. Quand son plan est parallèle à l'axe du tuyau, il n'offre que très peu de résistance au passage de la vapeur qui se rend au cylindre; placé dans la position inverse, il l'intercepte entièrement et fait stopper la machine; il est incliné à chaque instant sous un angle tel que la vitesse soit juste ce qu'elle doit être

à ce moment. Dans le dessin de la machine à double effet avec volant (fig. 34), on aperçoit ce registre en T, avec le régulateur chargé de le manœuvrer.

Ce « régulateur à boules », comme il est souvent appelé à cause de sa disposition, fut encore une autre des inventions secondaires, mais essentielles de Watt. Deux lourdes balles de fer ou de bronze BB′ (fig. 32) sont suspendues par des goujons CC′, à une petite traverse fixée au sommet d'un axe vertical AA′ que la machine fait tourner. Toutes les variations de vitesse de celle-ci se transmettent donc à cet axe. Plus les balles tournent vite, plus elles s'écartent l'une de l'autre; si la vitesse diminue au contraire, les balles, tournant plus lentement autour de l'axe, s'en rapprochent. Tant que la vitesse de la machine se maintient uniforme, les boules restent à la même distance de l'axe et, par suite, à la même hauteur; celle-ci étant déterminée par le rapport entre la gravité et la force centrifuge, dans la position d'équilibre. La hauteur du point de suspension au-dessus des balles est toujours égale à 9,78 pouces, divisé par le carré du nombre de révolutions accomplies dans une seconde, c'est-à-dire : $h = \frac{9,78}{N^2}$ [1].

Les bras qui portent les balles, ou ces balles elles-mêmes, sont articulés avec des tiges MM′, reliées à une douille NN′ qui peut glisser librement le long de l'axe. Dans une rainure T, ménagée sur cette pièce, s'engage un levier V, agissant sur la tige W, laquelle, suivant la position de la douille, ouvre plus ou moins l'arrivée de la vapeur, de façon à maintenir à la machine une vitesse à peu près constante. La transmission de mouvement entre le régulateur et la soupape à gorge ou les appareils de détente variable se voit, non seulement dans le dessin de la machine de Watt à double effet (fig. 34), mais aussi dans ceux des machines de Green et de Corliss (fig. 97, 98 et 99). Ce dispositif avait été précédemment employé à régulariser le mouvement des roues

1. Soit en mesures françaises : $h.\ mét. = \frac{0,248}{N^2}$ (N. du trad.).

hydrauliques et des moulins à vent. C'est Watt qui imagina de l'appliquer à la machine à vapeur.

Une autre utile invention de Watt fut celle de son « manomètre à mercure », — un baromètre dans lequel la hauteur de la colonne mercurielle est déterminée par la pression de la vapeur, au lieu de l'être par celle de l'atmosphère. Cet instrument très simple consiste uniquement en un tube recourbé en U (fig. 33), contenant une certaine quantité de mercure. Une branche BD communique avec le tuyau d'admission ou avec la chaudière par un petit tube ; l'autre extrémité C s'ouvre librement dans l'atmosphère. La pression de la vapeur sur le mercure en BD, le force à s'élever dans l'autre branche à une hauteur exactement proportionnelle à la pression ; la différence de niveau produite est de presque 2 pouces par livre (de pression au pouce carré), ce qui correspond à un pouce d'ascension du niveau dans la branche extérieure. Le grossier croquis que nous donnons ici, d'après Farey (fig. 33) indique suffisamment la forme de cet instrument. Beaucoup d'ingénieurs le considèrent encore comme le plus exact de tous ceux qui peuvent servir à mesurer la pression de la vapeur. Malheureusement, il n'est pas d'un emploi commode pour les hautes pressions. L'échelle A porte une graduation indiquant la pression correspondant à la position du mercure, par le moyen d'une tige qui flotte sur celui-ci et dont la tête parcourt les divisions.

Un instrument analogue fut employé pour mesurer le vide obtenu dans le condenseur, le mercure s'abaissant dans la branche extérieure à mesure que le vide devenait plus parfait. Le vide absolu eût amené dans cette branche une dépression de 30 pouces au-dessous du niveau du mercure dans la branche en communication avec le condenseur. D'ordinaire cet instrument se composait d'un simple tube de verre, dont l'extrémité inférieure plongeait dans un vase plein de mercure, comme dans les baromètres habituels, le sommet de ce même tube communiquant avec le tuyau qui conduisait au condenseur. En cas de vide absolu dans celui-ci, le mercure s'élèverait dans le tube à 30 pouces

environ. Généralement ce vide est loin d'être parfait; il reste dans le condenseur une pression de 1 ou 2 livres par pouce carré, et l'excès de la pression atmosphérique ne soulève le mercure du tube qu'à 26 ou 28 pouces au-dessus de son niveau dans la cuvette.

Pour connaître la hauteur de l'eau dans la chaudière, Watt ajouta aux robinets de jauge, en usage déjà depuis longtemps, le « tube de niveau d'eau » que l'on voit encore appliqué dans presque toutes les chaudières bien établies.

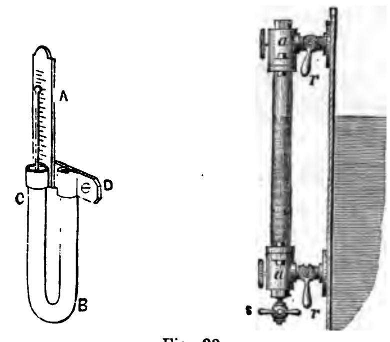


Fig. 33.
Manomètre à mercure. Tube de niveau d'eau.

C'est un tube de verre *aa'* (fig. 33) disposé en avant de la chaudière à une hauteur telle, que son milieu soit un peu au-dessous du niveau normal de l'eau. On peut donc suivre dans le tube toutes les variations du plan d'eau. Ce petit instrument est surtout précieux, parce qu'il permet au mécanicien de connaître à chaque instant d'un coup d'œil l'état des choses. S'il est bien protégé contre les variations brusques de température, il se comporte parfaitement, même aux hautes pressions.

Les machines construites par Boulton et Watt furent enfin munies de la manivelle et du volant, quand on voulut s'en servir pour activer les usines et toutes sortes de mécanismes. La figure 34 représente la machine ainsi disposée, avec tous les perfectionnements imaginés par son inventeur.

Dans ce dessin, C est le cylindre à vapeur, P le piston relié au balancier par la bielle *g* et guidé par le parallélogramme *gde*. A l'extrémité opposée du balancier, la grande bielle O le met en relation avec la manivelle et l'arbre du volant. R est la tige de la pompe à air, qui débarrasse le condenseur de l'eau échauffée; l'arrivée d'eau froide est réglée par le robinet d'injection E. Une autre pompe, dont la tige N est mue également par le balancier, va puiser l'eau froide nécessaire pour la condensation. La tige de la pompe à air sert en même temps de poutrelle pour manœuvrer les sou-

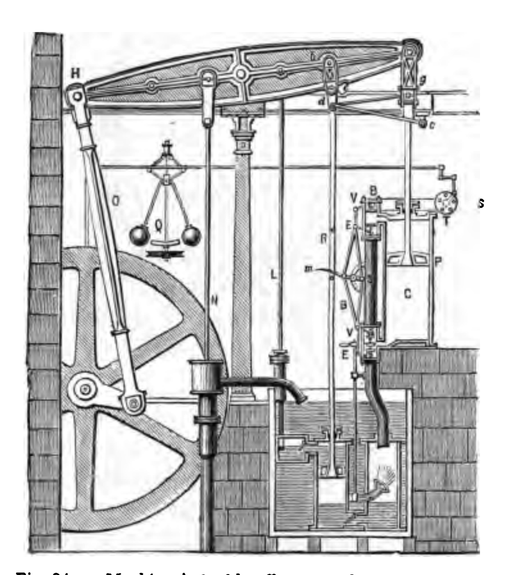


Fig. 34. — Machine à double effet de Boulton et Watt, 1784.

papes, les chevilles *m* et R agissant sur le levier *m* à chaque mouvement alternatif du piston. Quand celui-ci est au haut de sa course, le levier *m* est soulevé et ouvre à la fois la soupape d'admission B au sommet du cylindre, et la soupape d'échappement E à la partie inférieure; en même temps qu'il interrompt la sortie de la vapeur en haut et son arrivée en bas. Lorsque, par suite de cette répartition des pressions, le piston s'est entièrement abaissé, le taquet R abaisse le

levier *m*, et les mêmes effets se produisent en sens inverse. La position des soupapes est ainsi changée à chaque va-et-vient du piston, au moment où la manivelle, en tournant, passe par la verticale du centre de rotation ou *point mort*.

Les premières machines à double effet de grande dimension, avec arbre tournant, furent celles établies aux moulins d'Albion, près du pont de Blackfriars, à Londres, en 1786, et qui furent détruites lors de l'incendie de ces moulins en 1791. Il en avait deux (représentées pl. III, p. 109), de 50 chevaux chacune, et disposées pour mouvoir 20 paires de meules à farine. Jusqu'alors on n'avait employé pour la mouture que des moulins à vent ou des roues hydrauliques. Ce moulin à vapeur fut construit par Boulton et Watt, avec l'aide de capitalistes associés avec eux, non seulement en vue du profit que pouvait donner un moulin à farine installé dans la cité même de Londres, mais aussi pour faire connaître la puissance de la nouvelle machine à double effet et à « rotation ». Le plan fut arrêté en 1782, et le travail commencé en 1784; mais le moulin ne commença à fonctionner qu'au printemps de 1786. La production normale était de 16,000 boisseaux de grain moulus par semaine, et un jour même elle s'éleva à 3,000 en 24 heures. Dans la construction du mécanisme de ce moulin, de nombreux perfectionnements furent apportés aux dispositions alors en usage, entre autres l'emploi d'engrenages en fonte avec denture exactement profilée et monture en fer. Ce fut le premier travail de John Rennie, qui venait d'achever son apprentissage en Écosse et qui envoya Ewart, son directeur adjoint, pour surveiller le montage de la meunerie. Ce moulin était un chef-d'œuvre de mécanique; mais les capitalistes engagés dans l'entreprise subirent une perte sérieuse, à cause de l'incendie qui le détruisit entièrement peu d'années après. Boulton et Watt furent les plus gravement éprouvés; le premier perdit 6,000 livres sterling et le second 3,000.

La distribution de cette machine (planche III, p. 109) était en tout semblable à celle que Watt avait adoptée pour ses machines d'épuisement. Le dessin ci-contre (fig. 35)

montre la disposition des soupapes, telles qu'elles étaient disposées dans la machine des moulins d'Albion.

La conduite *abdde* amène la vapeur de la chaudière dans les boîtes *b* et *e*; le tuyau de décharge *gg* la ramène de *h* et *i* au condenseur. Dans la figure, les soupapes, *b*

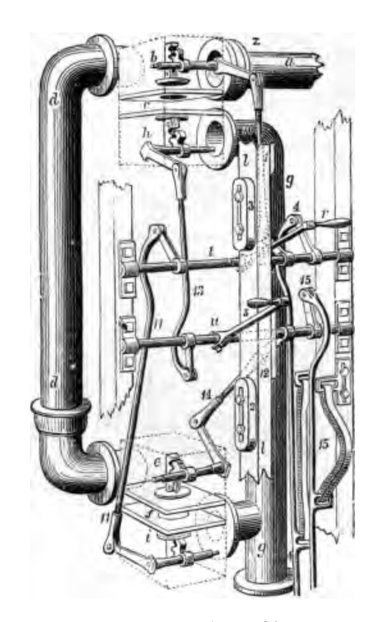


Fig. 35. — Appareil distributeur de la machine des moulins d'Albion.

d'admission haute, et *f* d'échappement basse, sont ouvertes; les soupapes d'admission *e* et d'échappement *c* sont au contraire fermées, le piston étant près de l'extrémité supérieure du cylindre et commençant sa course descendante. On voit en *ll* la poutrelle, portant des cames 2 et 3 qui saisissent le levier *s* dans leurs positions extrêmes et font tourner l'arbre *u*, ouvrant et fermant ainsi du même coup *c* et *e* par le moyen des tiges articulées 13 et 14. Une paire de cames semblables, situées sur la face opposée de la poutrelle, manœuvrent les soupapes *b* et *f* par le moyen des tiges 10 et 11, le levier *r*, frappé par ces cames, faisant tourner

l'arbre *t* et mouvoir en conséquence les bras auxquels ces tiges sont attachées. Des contrepoids portés aux extrémités des bras 4 et 15, maintiennent les soupapes en place lorsqu'elles ont été fermées par l'action des cames. Quand le piston est près d'arriver au bas de sa course, la came 1 atteint le levier *r*, ferme la soupape d'admission *b*, et, l'instant

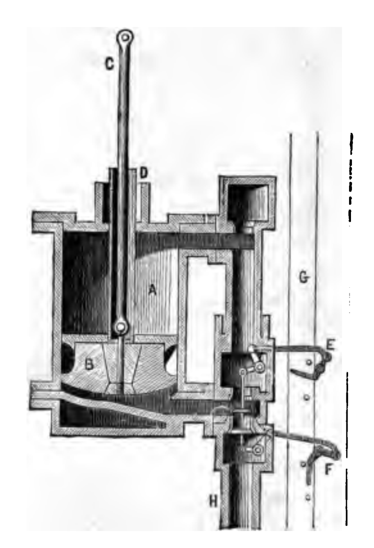


Fig. 36. — Machine à fourreau de Watt, 1784.

d'après, celle d'échappement *f*. En même temps la came 3, en abaissant le levier *s*, ouvre la soupape d'admission *e* et la soupape d'échappement *c*. La vapeur cesse alors d'arriver dans la chambre *c*, et de là dans le cylindre (qui n'est pas représenté sur la figure) ; mais elle entre maintenant dans la machine par la soupape *e* en soulevant le piston. L'échappement se produit en même temps à la partie supérieure, la vapeur rejetée passant du cylindre dans la boîte *c* et de là se rendant, par le tube *g*, au condenseur.

Ce genre de distribution à soupapes fut plus tard beaucoup perfectionné par Murdoch, le chef d'atelier de Watt, homme ingénieux et instruit; mais il a maintenant com-

plètement disparu des machines de cette espèce; il est remplacé par l'excentrique et les différents genres de distributeurs que celui-ci fait fonctionner.

La « machine à fourreau » fut encore une des inventions presque innombrables de Watt. Une machine mixte à fourreau est décrite dans son brevet de 1784, telle qu'on la voit dans le dessin ci-dessus (fig. 36). A est le cylindre, B le piston et C sa tige, enfermée dans le fourreau D. La poutrelle G fait mouvoir l'unique paire de soupapes, en agissant sur les griffes E et F, comme dans les machines précédentes de Watt.

Le marteau à vapeur de Watt fut breveté vers la même

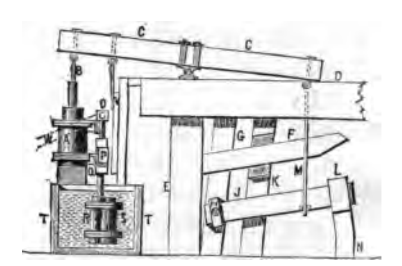


Fig. 37. — Le marteau de Watt, 1784.

époque (fig. 37). A est le cylindre à vapeur et B sa tige, la machine étant de la forme qui vient d'être décrite. Elle fait manœuvrer un balancier CC, lequel à son tour, par l'intermédiaire de la tige M, agit sur le manche du marteau LJ, pour le soulever. La poutre FG agit comme ressort. Le bloc N est l'enclume.

Watt n'avait pas pu réussir à déterminer le rendement de ses machines, par l'évaluation directe du travail produit; et il chercha un moyen d'évaluer la puissance développée, par la mesure de la pression de la vapeur dans le cylindre. Cette pression était si variable, sujette à des fluctuations si considérables et si rapides, qu'il constata l'impossibilité d'employer pour cet objet le manomètre à mercure, dont il se servait avec la chaudière. Il fut ainsi conduit à imaginer dans ce but un instrument spécial qu'il nomma « l'indica-

teur». Il consiste en un petit cylindre, muni d'un piston parfaitement ajusté, qui se meut sans frottement notable, sous l'effort de la vapeur, équilibré à chaque instant par la compression d'un ressort à boudin, reliant le piston au fond du cylindre. La quantité dont ce piston se soulève est proportionnelle à la pression qu'il supporte; et un index attaché à sa tige parcourt une échelle graduée sur laquelle on peut lire la pression par pouce carré. La partie inférieure de cet instrument communique avec le cylindre de la machine par un petit tube muni d'un robinet, qu'il suffit d'ouvrir pour permettre à la vapeur de venir remplir l'indicateur; de sorte que la pression est toujours la même dans les deux cylindres. L'index, en parcourant son échelle, fait donc connaître à chaque instant la pression exercée par la vapeur dans le cylindre de la machine. Quand cette machine est au repos et vide de vapeur, le piston de l'indicateur est dans la même position que lorsqu'il ne communique pas avec la machine, et l'index se trouve au zéro de l'échelle. Aussitôt que la vapeur est admise, le piston se soulève et s'abaisse suivant les variations de pression; et, quand la soupape d'échappement s'ouvre, laissant écouler la vapeur et produisant un vide dans le cylindre, l'index descend au-dessous de zéro, faisant ainsi connaître le degré de vide.

M. Southern, un des aides de Watt, compléta cet instrument par l'addition d'une planchette pouvant se mouvoir horizontalement, et qui, par une liaison convenable avec le balancier, reçoit un mouvement alternatif coïncidant avec celui du piston. Cette planchette est garnie d'une bande de papier, sur laquelle un crayon attaché à la tige de l'index décrit une courbe. La hauteur verticale d'un point quelconque de celle-ci au-dessus de la ligne des abscisses mesure la pression dans le cylindre au moment correspondant; et la distance horizontale de ce point aux extrémités de la courbe indique à ce même instant la position du piston de la machine. La courbe ainsi obtenue, qu'on appelle le *diagramme* de l'indicateur, rend compte de toutes les circonstances des variations de la pression de la vapeur dans le cylindre; et non seulement elle permet de déterminer par

mesure directe la pression moyenne et la puissance de la machine, mais l'œil de l'ingénieur expérimenté y lit une indication claire de la position des soupapes, indication qui révèle presque tous les défauts de fonctionnement, dont un examen extérieur ne permettrait guère de découvrir l'existence. On a donné avec raison à cet instrument le nom de « stéthoscope de l'ingénieur », car il découvre à l'examen les parties inaccessibles de la machine, plus complètement que le stéthoscope ordinaire ne révèle au médecin la condition et le fonctionnement des organes intérieurs du corps humain. Cet appareil, indispensable et aujourd'hui familier à l'ingénieur, a été de nos jours considérablement modifié et amélioré dans ses détails.

Par les perfectionnements spécifiés dans les brevets de 1782-85, la machine de Watt avait acquis sa forme définitive, et le grand inventeur n'y fit depuis lors que des améliorations secondaires de formes et de proportions. Ainsi pratiquement complétée, elle présentait presque tous les traits essentiels de la machine à vapeur moderne; et, comme nous l'avons vu, les idées caractéristiques les plus récemment entrées dans la pratique — emploi du double cylindre, ou d'une distribution avec détente, condensation par surface — avaient toutes été proposées et même, dans une certaine mesure, appliquées. Entre les mains de James Watt, la machine à vapeur avait acquis toute son extension; les progrès ultérieurs sont beaucoup plus lents, ils consistent surtout en améliorations de détail, et sont à peine des développements réels des idées fondamentales.

Toutefois, pendant bien des années encore, l'esprit de Watt ne perdit rien de son activité. Il inventa et fit breveter un fourneau « fumivore », dans lequel il forçait les gaz, produits par le chargement de combustible frais, à passer sur les charbons déjà incandescents, pour les brûler complètement. Il employait deux foyers qu'on alimentait alternativement. Même lorsqu'il était le plus occupé, il trouvait encore du temps pour se livrer à des recherches exclusivement scientifiques. Boulton et Watt réunirent un certain

nombre de savants bien connus, demeurant dans le voisinage de Birmingham, pour former une « Société lunaire » qui tenait ses séances chaque mois au domicile d'un de ses membres « le jour de la pleine lune ». On avait choisi ce jour-là, afin de permettre à ceux qui venaient de loin de profiter du clair de lune pour retourner chez eux. Beaucoup de sociétés analogues existaient alors en Angleterre; mais celle de Birmingham fut une des plus nombreuses et des plus célèbres. Boulton, Watt, les docteurs Small, Darwin et Priestley en furent les présidents, et parmi ceux qui l'honorèrent parfois de leur présence, on compte Herschel, Smeaton et Banks. Watt appelait ces réunions des « réunions de philosophes[1] ». A l'époque où elles étaient en pleine activité, Cavendish et Priestley faisaient des expériences avec des mélanges d'oxygène et d'hydrogène, pour étudier la combustion de ces gaz. Watt s'intéressa beaucoup à cette question; ayant appris par Priestley que, dans des expériences faites avec Cavendish, ils avaient remarqué qu'un dépôt d'humidité succédait toujours à l'explosion du mélange, quand le récipient qui le contenait était froid, et que le poids de l'eau ainsi obtenue représentait à peu près celui des gaz mélangés, Watt en conclut immédiatement que la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène produisait de l'eau, celle-ci n'étant qu'un composé chimique dont les deux gaz formaient les parties constituantes. Dans une lettre écrite à Boulton en 1782, il lui fit part de ce raisonnement et des conclusions auxquelles il l'avait conduit. A quelque temps de là, il écrivit de même à Priestley une lettre qui devait être lue devant la Société royale en avril 1783. Elle ne le fut pourtant qu'une année plus tard, et trois mois seulement après qu'un mémoire de Cavendish, émettant la même opinion, eut été soumis à la Société. Watt affirma que Cavendish et Lavoisier, auxquels cette découverte est aussi attribuée, ont tenu cette idée de lui.

L'action décolorante que le chlore exerce sur les matières organiques, en les décomposant (comme on l'a prouvé

1. *Philosophers' meetings.*

depuis) pour se combiner avec leur hydrogène, fut signalée à Watt par le célèbre chimiste français Berthollet; et Watt en introduisit immédiatement l'usage dans la Grande-Bretagne, en engageant M. Mac Gregor, son beau-père, à en faire l'essai.

La Société commerciale de Boulton et Watt se termina, dans la première année du siècle présent, à l'expiration de sa durée légale et des brevets qu'elle avait exploités. Les deux associés, devenus vieux et infirmes, se retirèrent des affaires, laissant leurs fils renouveler leur traité et continuer leurs opérations sous la même raison sociale.

Néanmoins Boulton conserva encore un intérêt dans quelques branches de son industrie, surtout dans la fabrication des monnaies, qu'il avait longtemps frappées pour différentes nations.

Watt se retira peu après à Heathfield, où il passa le reste de sa vie dans la jouissance paisible de la société de ses amis, tout en se tenant au courant des choses de la science et de l'industrie. Un à un ses vieux amis moururent : Black en 1799, Priestley, exilé en Amérique, en 1803, et Robison un peu plus tard. Boulton mourut aussi à quatre-vingt-un ans, le 17 août 1809; mais un coup plus terrible pour Watt, que la perte de ses amis les plus chers, vint encore le frapper : ce fut la mort de son fils Gregory en 1804.

Toutefois le grand inventeur ne se laissa pas abattre par la solitude qui se faisait peu à peu autour de lui. Il écrivait : « Je sais que tous les hommes doivent mourir, je me soumets aux décrets de la Nature, et j'espère, avec le respect que je dois au Souverain Maître de toutes choses. » Et il ne négligeait aucune occasion de se distraire et de s'instruire, en se tenant le corps et l'esprit constamment occupés. Il assistait encore aux séances hebdomadaires de son club, où il se rencontrait avec Rennie, Telford, et autres hommes distingués de sa génération ou plus jeunes que lui. Il n'avait rien perdu de sa passion pour les inventions, et consacra de longs mois à la construction d'une machine à copier les statues; il ne l'avait pas encore amenée à l'état de perfec-

tion qu'il rêvait, quand la mort vint l'atteindre, dix ans plus tard. Cette machine était une sorte de pantographe, susceptible de fonctionner dans un plan quelconque, et dans lequel le crayon était remplacé par un outil tranchant. Une pointe à tracer suivait les contours de la surface du modèle, tandis que l'instrument coupant en reproduisait tous les mouvements avec précision, et donnait un *fac-simile* formé par la matière sur laquelle on opérait.

En 1800, il imagina la grande conduite qui fut placée par la Compagnie des eaux de Glasgow, en travers et sur le fond du lit de la Clyde. Les joints en étaient sphériques et articulés comme une queue de homard.

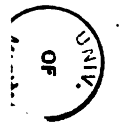
L'atelier de Watt, dont nous donnons une vue ci-dessous (pl. IV), d'après un dessin de Skelton, était installé dans le grenier de sa maison, et bien fourni d'outils et de toute espèce d'instruments de laboratoire. Son tour et sa machine à copier étaient placés devant la fenêtre, et son bureau dans le coin. C'est là qu'il passait la plus grande partie de ses heures de loisir, y prenant même souvent ses repas, plutôt que d'aller se mettre à table. Même à l'âge le plus avancé, il faisait de temps à autre un voyage à Londres ou à Glasgow, visitant ses vieux amis, étudiant les engins mécaniques les plus récents et inspectant les travaux publics. Partout, vieux et jeunes accueillaient avec empressement le plus grand ingénieur de l'époque, l'ami bienveillant et expérimenté des anciens jours.

Il mourut le 19 août 1819, dans sa quatre-vingt-troisième année, et fut inhumé dans l'église de Handsworth. Le sculpteur Chantrey fut chargé de décorer sa tombe d'un monument approprié à son caractère, et la nation anglaise a élevé au grand homme une statue dans l'abbaye de Westminster.

L'étendue que j'ai donnée à cette histoire du plus grand de tous les inventeurs de la machine à vapeur est pleinement justifiée. Que nous considérions Watt comme l'inventeur du type de la machine à vapeur du XIXe siècle, ou comme le savant chercheur des principes physiques qui servent de base à la théorie de cette machine, ou enfin



Atelier de James Watt (tiré des « Lives of Boulton and Watt » de Smiles).



laquelle Watt continua de travailler jusqu'au dernier moment. La charpente en bois est mangée des vers et tombe en poussière, comme les mains qui l'ont construite. Mais, quoique l'illustre ouvrier, avec tous ses chagrins et ses soucis, dorme aujourd'hui du sommeil éternel, et que ces objets qu'il a façonnés soient près de disparaître comme lui, l'esprit de son œuvre, la pensée qu'il a matérialisée dans ses inventions lui survit encore, et continuera d'exercer, jusqu'à la fin des siècles, une influence profonde sur les destinées de ses descendants. »

Le visiteur de l'abbaye de Westminster n'y trouvera ni monarque, ni capitaine, ni homme d'État, ni poète, honoré d'une plus noble épitaphe que celle inscrite sur le piédestal du monument élevé à Watt par Chantrey :

NON PAS POUR PERPÉTUER UN NOM,
QUI DOIT DURER AUSSI LONGTEMPS QUE LES ARTS DE LA PAIX FLEURIRONT,
MAIS AFIN DE MONTRER
QUE LES HOMMES ONT APPRIS A HONORER CEUX QUI MÉRITENT LE MIEUX LEUR RECONNAISSANCE,

LE ROI,

SES MINISTRES ET UN GRAND NOMBRE DES NOBLES ET DES BOURGEOIS DU ROYAUME
ONT ÉLEVÉ CE MONUMENT A

JAMES WATT,

QUI, APPLIQUANT LA FORCE D'UN GÉNIE ORIGINAL,
EXERCÉ DE BONNE HEURE AUX RECHERCHES SCIENTIFIQUES,
AU PERFECTIONNEMENT DE

LA MACHINE A VAPEUR,

ETENDIT LES RESSOURCES DE SON PAYS, AUGMENTA LA PUISSANCE DE L'HOMME,
ET S'ÉLEVA A UNE PLACE ÉMINENTE
PARMI LES PLUS ILLUSTRES ADEPTES DE LA SCIENCE ET LES VÉRITABLES BIENFAITEURS DE L'HUMANITÉ.
NÉ A GREENOCK, MDCCXXXIV
MORT A HEATHFIELD, DANS LE STAFFORDSHIRE, MDCCCXIX.

CHAPITRE II

LES CONTEMPORAINS DE JAMES WATT.

Dans l'histoire de la machine à vapeur, les contemporains de Watt ont été si complètement éclipsés par le grand et heureux inventeur, que les biographes et les historiens les ont presque oubliés. Pourtant, parmi les ingénieurs et constructeurs de machines, comme parmi les inventeurs de son temps, Watt rencontra beaucoup de rivaux entreprenants et d'ardents compétiteurs. Quelques-uns de ces hommes, s'ils n'eussent pas été aussi étroitement entravés par les brevets de Watt, auraient probablement accompli des travaux qui leur eussent fait plus d'honneur qu'ils n'en ont obtenu.

William Murdoch fut un des hommes à qui Watt lui-même, non moins que l'humanité, a été largement redevable. Pendant de longues années, il fut l'aide, l'ami, le collaborateur de Watt, et c'est à son esprit ingénieux que nous devons faire honneur, non seulement de beaucoup d'inventions personnelles, mais aussi d'idées et d'améliorations souvent indispensables à la réalisation et au perfectionnement de quelques-unes des inventions de Watt.

Murdoch était employé dans la maison Boulton et Watt, en 1776; on lui donna la haute surveillance des travaux de construction des machines, et généralement il était chargé du soin de les installer. C'est ainsi qu'il fut envoyé dans le Cornouailles, où il passa une grande partie du temps qu'il resta au service de la maison ; il y fit monter des machines d'épuisement, dont la fabrication constitua pendant tant

d'années une partie importante des affaires de l'établissement de Soho. Boulton et Watt le regardaient comme un ami sincère, comme un partisan loyal, et, de 1810 à 1830, on lui donna une part d'intérêt dans les revenus de la maison et 1,000 liv. sterl. d'appointements. Il se retira des affaires en 1830, mourut en 1839 et fut enterré auprès des deux associés dans l'église de Handsworth.

En 1784, Murdoch construisit un modèle de la locomo-

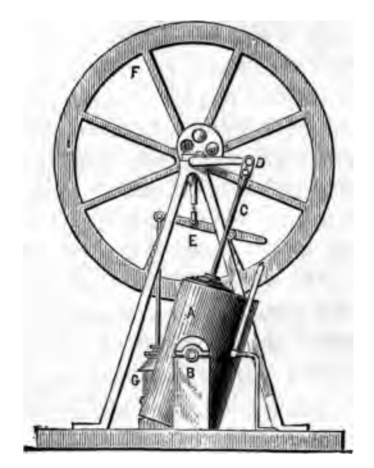


Fig. 39. — Machine oscillante de Murdoch, 1785.

tive que Watt fit breveter la même année. Il imagina l'arrangement du « planétaire », adopté pendant un certain temps dans toutes les machines « à rotation » de Watt. En 1785, il inventa la machine à vapeur oscillante (fig. 39), avec distribution par le « tiroir en D » G, mis en mouvement par la transmission E, commandée par un excentrique calé sur l'arbre de couche, indépendamment de l'oscillation du cylindre A. Il inventa également une machine rotative et beaucoup d'autres moins importantes pour divers objets spéciaux, ainsi qu'un grand nombre d'outils employés à Soho pour la construction des machines. Il semble avoir eu, comme Watt, une certaine prédilection pour la vis sans fin, qu'il introduisait partout où il pouvait sans inconvé-

nient la substituer à un engrenage ordinaire. Lors de ma visite aux usines de Soho, en 1873, j'ai encore trouvé en usage et en bon état de service quelques-unes des machines organisées par Watt et Murdoch, qui travaillaient toujours en commun. L'ancienne Monnaie, dans laquelle, de 1797 à 1805, Boulton avait frappé 4,000 tonnes de cuivre, avait été démolie et remplacée en 1860. Nombre de vieilles machines se conservaient encore dans l'établissement, comme souvenirs des trois grands mécaniciens.

Murdoch trouva aussi, en dehors de Soho, ample carrière pour exercer ses talents inventifs. En 1792, pendant qu'il était à Redruth, où il résida quelque temps avant de rentrer définitivement à Soho, il fut amené à l'idée d'utiliser le pouvoir éclairant des gaz de la houille; et, convaincu que la chose était praticable, il exposa la question en 1808 devant la Société royale, qui lui accorda la médaille d'or de Rumford. Dix ans auparavant, il avait éclairé au gaz une partie des usines de Soho, et, en 1803, Watt l'autorisa à prolonger ses conduites dans toute l'étendue des bâtiments. Plusieurs industriels adoptèrent bientôt le nouveau système d'éclairage, et l'usage s'en répandit très rapidement.

Une des idées favorites de Murdoch était la transmission de la force par le moyen de l'air comprimé. Il fit marcher la machine de l'atelier des modèles, à Soho, à l'aide de la soufflerie de la forge, et construisit un monte-charge pneumatique pour lever les moulages de fonte du sol de l'atelier aux bords du canal. Il fit aussi un canon à vapeur, organisa le chauffage des bâtiments par circulation d'eau chaude, et inventa le transport des paquets dans des tubes par l'effet de l'air comprimé, comme elle est pratiquée aujourd'hui sous le nom de *télégraphie pneumatique*. Il mourut à l'âge de quatre-vingt-cinq ans.

Parmi les rivaux de Watt les plus actifs et les plus redoutables, il faut signaler Jonathan Hornblower, breveté pour la machine « composée » (*compound*) ou à double cylindre. Nous donnons ici (fig. 40) un dessin de cette machine, telle que Hornblower la fit breveter en 1781. Elle a été décrite pour la première fois par l'inventeur dans l'*Encyclopædia*

Britannica. Elle consiste, comme on le voit en se reportant à la figure, en deux cylindres à vapeur A et B, B étant celui à haute et A celui à basse pression. La vapeur sortant du premier se rend dans le second et, après y avoir agi, dans le condenseur. Les tiges de piston C et D sont toutes deux reliées au même bras du balancier par des chaînes,

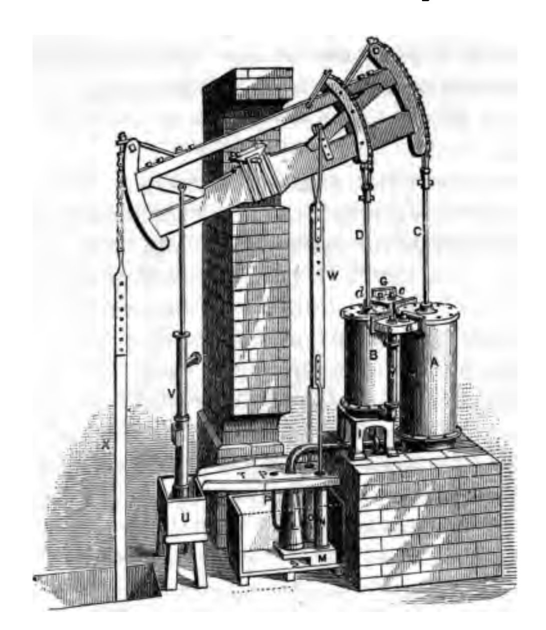


Fig. 40. — Machine *compound* de Hornblower, 1781.

comme dans les autres machines de l'époque. Ces tiges traversent des boîtes à étoupe (*stuffing-boxes*), placées au sommet des cylindres, qui sont disposés comme ceux que nous avons vus dans la machine de Watt. La vapeur vient de la chaudière par le tuyau GY ; les robinets *a*, *b*, *c*, *d* peuvent prendre toutes les positions voulues pour la conduire dans les cylindres et l'en faire sortir, et ils sont manœuvrés par la poutrelle W, au moyen de poignées qui ne sont pas représentées sur la figure. K est le tuyau d'échappement qui conduit au condenseur. V est la tige de la pompe

d'alimentation, et X la maîtresse-tige, qui porte les pistons des pompes actionnées par la machine.

Les robinets *c* et *a* étant ouverts, *b* et *d* fermés, la vapeur se rend de la chaudière dans le haut du cylindre B, et la communication entre le bas de B et le haut de A est également ouverte. Avant la mise en train, l'admission de la vapeur étant interceptée, le poids considérable de la maîtresse-tige X l'emporte et fait descendre la partie correspondante du balancier, les pistons se maintenant, comme le montre la figure, à la partie supérieure de leurs cylindres respectifs.

On commence par chasser entièrement l'air de la machine, en ouvrant toutes les soupapes et laissant circuler la vapeur dans toutes les parties, jusqu'à la sortie du condenseur par le « reniflard » O; les soupapes *b* et *d* sont ensuite fermées, et le robinet du tuyau d'échappement ouvert.

La vapeur qui se trouve sous le piston du grand cylindre se condense immédiatement, et la pression qui s'exerce sur l'autre face de ce piston le fait descendre, entraînant dans son mouvement une extrémité du balancier et soulevant l'autre, avec les tiges des pompes et leurs accessoires. En même temps la vapeur qui vient du bas du cylindre à haute pression étant amenée dans le haut du grand cylindre, il se trouve à la fin de la course du piston que toute la vapeur qui remplissait le petit cylindre a été transportée dans l'autre, avec augmentation de volume et diminution de pression correspondante. Pendant que cette vapeur se détend et que sa pression diminue sur son passage du petit cylindre dans le grand, elle offre de moins en moins de résistance à la pression exercée par celle qui, venant de la chaudière, agit sur la face supérieure du petit piston B; la descente des pistons est donc produite par la différence des pressions sur leurs faces supérieures et inférieures. La pression est constamment la même au-dessous du petit piston qu'au-dessus du grand et dans le tuyau de communication.

Quand les pistons sont arrivés au bas de leurs cylindres respectifs, les soupapes du haut du petit et du bas du grand se ferment; les soupapes *c* et *d* s'ouvrent. La vapeur venant

de la chaudière arrive alors sous le piston du petit cylindre, la vapeur contenue dans le grand se rend au condenseur, et celle qui était déjà dans le petit passe dans le grand, en suivant le piston à mesure qu'il s'élève.

Ainsi, à chaque coup de piston, on prend à la chaudière la quantité de vapeur nécessaire pour emplir le petit cylindre; et un poids égal, mais occupant le volume du grand, se rend de celui-ci dans le condenseur.

En étudiant le mode de fonctionnement de cette machine, le professeur Robison démontra que l'effet produit était le même que dans la machine à un seul cylindre de Watt, ce qui est un cas particulier de la loi énoncée bien des années plus tard par Rankine, à savoir : « en ce qui concerne l'action théorique de la vapeur sur le piston, il n'importe nullement que la détente ait lieu dans un seul cylindre, ou bien dans deux ou plusieurs[1] ». Il fut constaté dans la pratique que la machine de Hornblower n'était pas plus économique que les machines de Watt; et celle qu'on établit en 1792 à la mine d'étain de Croft, dans le Cornouailles, fit même moins de travail pour la même dépense de combustible.

Hornblower fut poursuivi par Boulton et Watt pour contrefaçon. Il perdit le procès et fut mis en prison, faute d'avoir pu payer les dommages et l'amende prononcés contre lui. Il mourut pauvre et découragé. Mais le système qu'il avait ainsi appliqué sans succès fut plus tard modifié et repris par d'autres contemporains de Watt; et, avec l'usage des hautes pressions et du condenseur, la machine *compound* devint peu à peu un type bien défini de machine à vapeur.

En 1804, Arthur Woolf fit revivre la machine de Hornblower ou de Falck, avec ses deux cylindres, en employant

1. Cette loi ne s'applique que si l'on suppose que les parois des cylindres n'exercent aucune action calorifique sur le fluide qu'ils contiennent, qu'ils ne lui empruntent pas de chaleur et ne lui en communiquent pas. Dans la pratique, ces hypothèses sont loin d'être réalisées, et la détente dans plusieurs cylindres présente, au point de vue de la dépense de vapeur, des avantages importants, que des expériences récentes ont mis hors de doute. *(N. du trad.)*

de la vapeur à plus haute tension. Sa première machine fut construite pour une brasserie de Londres, et on en fit par

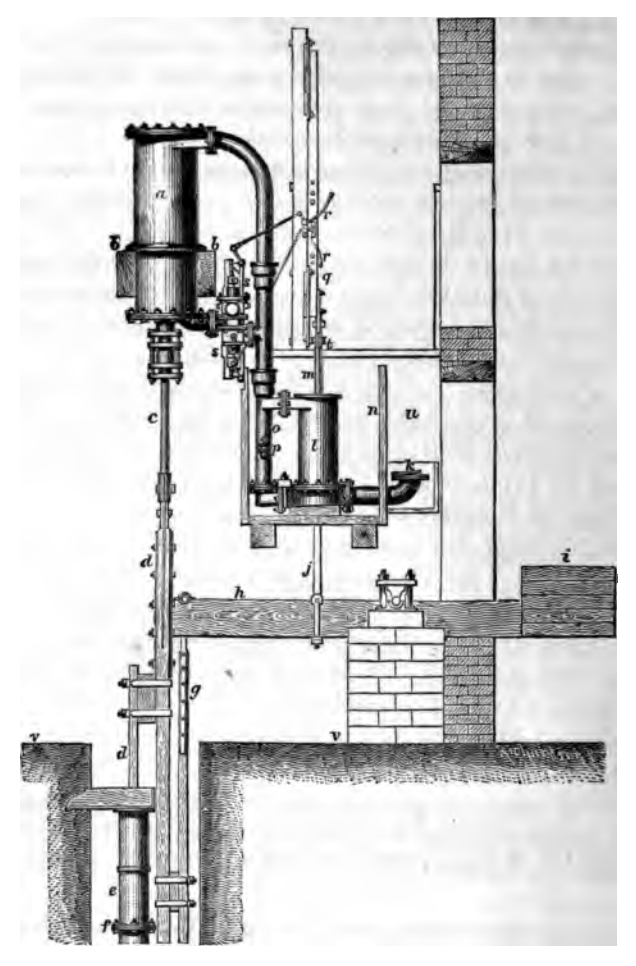


Fig. 41. — Machine à épuisement de Bull, 1798.

la suite un nombre considérable. Woolf poussait la détente jusqu'à 6 à 9 fois le volume à l'admission ; et les machines à épuisement établies d'après ses plans élevèrent, dit-on,

jusqu'à 40,000,000 de livres à un pied de haut par boisseau de charbon brûlé, tandis que celles de Watt n'en pouvaient élever qu'un peu plus de 30,000,000. Une fois même on prétendit avoir obtenu un rendement de 57,000,000[1].

Parmi les compétiteurs de Watt qui essayèrent d'imaginer une forme particulière de machine d'épuisement, aussi efficace que celle de Boulton et Watt et moins coûteuse, ceux qui réussirent le mieux furent William Bull et Richard Trevithick[2]. La figure ci-dessus (fig. 41) indique la disposition qu'ils adoptèrent et qui fut alors connue sous le nom de « machine de Cornouailles de Bull ».

Le cylindre à vapeur *a* est porté par des poutres en bois *b* s'étendant en travers de la chambre de la machine, immédiatement au-dessus du puits qu'il s'agit d'assécher. La tige du piston *c* est reliée directement à la maîtresse-tige *dd*, le cylindre étant renversé. Les pompes *e*, placées dans le puits, sont ainsi manœuvrées sans l'intervention du balancier, qui existe dans toutes les machines de Watt. Une bielle *g*, attachée à la tige de la pompe et à l'extrémité d'un balancier *h*, fait osciller ce dernier, et se trouve équilibrée par un contrepoids *i*. La tige *j* sert à la fois de poutrelle à chevilles, et de bielle pour faire fonctionner la pompe à air. Une soupape reniflard *k* s'ouvre quand un jet de vapeur est lancé à travers toute la machine pour chasser l'air du condenseur et de la pompe à air *l*. La tige *m* fait marcher le piston de la pompe à air, lequel est plein, les soupapes étant placées des deux côtés à la base du corps de pompe, au lieu de l'être dans le piston, comme dans les machines de Watt. La bâche à eau froide est une cuve en bois *n*. Le condenseur a la forme d'un tuyau vertical *o* et reçoit l'eau froide par le robinet *p*. La poutrelle *q*, en s'élevant et s'abaissant, ma-

1. Les chiffres ci-dessus, traduits en unités usuelles françaises, donnent :

40,000,000	de pieds-livres	correspondent à	$1^{k},8$	de houille
30,000,000	par boisseau		$2^{k},5$	par heure et
57,000,000	de charbon		$1^{k},31$	par cheval.

2. Voir une description très intéressante et très fidèle de leur travail : *Life of Richard Trevithick*, par F. Trevithick. Londres, 1878.

nœuvre les leviers *r*, *r*, qui ouvrent et ferment les soupapes *s*, *s*, au moment voulu de la course du piston. Pour la mise en train, le mécanicien, monté sur le plancher *t*, fait marcher lui-même ces soupapes à la main. La machine fonctionne, au reste, d'une façon analogue à celle de Watt.

Les machines de ce système, avec quelques modifications et perfectionnements, sont encore en usage aujourd'hui. Elles sont très-solides et très-économiques. Leur usage fût sans doute devenu plus général encore, si la proscription légale exercée par les brevets de Watt n'avait mis de graves obstacles à leur adoption. Leur simplicité et leur légèreté constituent des avantages sérieux; et leurs auteurs ont montré une hardiesse et une ingéniosité qui leur font honneur, dans l'emploi des dispositions de détail qui distinguent leur machine. L'idée première de ces machines revient probablement à Bull; mais Trevithick en a construit un certain nombre, et l'on suppose qu'il en a considérablement amélioré la disposition, lorsqu'il travaillait avec Edward, le fils de l'inventeur William Bull. Ils établirent en 1798, à la mine de Herland, dans le Cornouailles, une de ces machines dont le cylindre avait 60 pouces de diamètre, et qui était construite d'après le plan que nous venons de décrire.

Un autre des contemporains de James Watt était un clergyman, Edward Cartwright, l'habile inventeur du métier mécanique et de la première machine employée pour peigner la laine. Il reprit l'idée de Watt, de la condensation par surface, sous une forme un peu différente. Watt avait construit un « condenseur tubulaire » semblable comme forme à ceux qu'on emploie souvent aujourd'hui; mais il l'avait simplement immergé dans un réservoir d'eau, au lieu d'un courant continu. Cartwright proposa d'employer deux cylindres ou sphères concentriques, entre lesquelles pénétrait la vapeur en sortant du cylindre de la machine; elle se condensait par le contact des surfaces métalliques. De l'eau froide au dedans du vase intérieur et en dehors du vase extérieur, maintenait le métal à une basse température et absorbait la chaleur que la vapeur abandonnait en se condensant.

La meilleure description de la machine de Cartwright a été donnée dans le *Philosophical Magazine* de juin 1798, d'où est extrait le croquis ci-dessous (fig. 42).

L'inventeur dit avoir eu pour but de remédier aux défauts

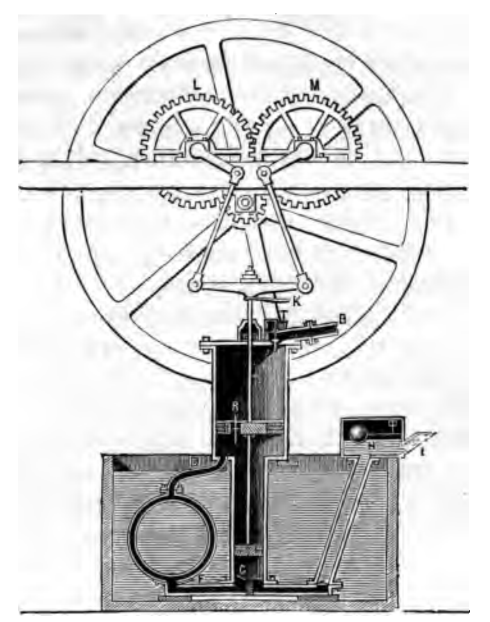


Fig. 42. — Machine de Cartwright, 1798.

de la machine de Watt : vide imparfait, frottements et complication.

Dans la figure, la vapeur arrive au cylindre par le tube B. La tige du piston R se prolonge vers le bas et manœuvre le petit piston de la pompe à air G ; la même tige, prolongée vers le haut, agit sur la traverse, laquelle à son tour fait marcher, au moyen de deux bielles, les manivelles placées au-dessus. Les deux arbres qu'on fait ainsi tourner sont reliés par deux roues dentées M, L, dont l'une commande un pignon porté par l'arbre du volant. D est le tuyau d'échappement conduisant au condenseur F; la pompe G enlève l'air et l'eau de condensation, et chasse celle-ci dans

la bâche à eau chaude H, d'où elle retourne à la chaudière par le tube I. En H est un réservoir d'air pour amortir les coups de piston de la pompe à air; la quantité d'air confiné est réglée par une soupape manœuvrée par un flotteur. La grande cuve contient l'eau froide pour condenser la vapeur.

Le piston R est en métal; il est garni de deux couches d'anneaux métalliques, coupés en trois points de leur circonférence et maintenus en place par des ressorts d'acier, qui les pressent contre les parois du cylindre. La combinaison des deux manivelles, avec leurs arbres et leurs roues dentées, a pour but de remplacer le procédé adopté par Watt, pour obtenir sans frottement un mouvement parfaitement rectiligne de la tige du piston.

Dans les descriptions de cette machine, on insiste beaucoup sur cet avantage, que l'emploi du condenseur par surface permet de remplacer la vapeur d'eau par celle d'un autre liquide, l'alcool par exemple, liquide trop coûteux pour qu'on puisse le laisser perdre. Aussi proposait-on d'employer la machine en combinaison avec une distillerie, et de réaliser ainsi une grande économie en faisant faire, du même coup, double travail au combustible. La seule disposition qui se trouva être réellement neuve et utile fut celle du piston à garniture métallique, que jusqu'ici rien n'a remplacé. La machine elle-même n'a jamais servi.

Au point où nous sommes arrivés, l'histoire de la machine à vapeur devient celle de ses applications diverses, dont les plus importantes sont : l'élévation de l'eau, la locomotion, la mise en mouvement des usines et la navigation à vapeur.

Ici nous prenons congé de James Watt et de ses contemporains, du grand homme dont un écrivain français a dit : « Le rôle qu'il a joué dans les applications mécaniques de la puissance de la vapeur, ne peut être comparé qu'à celui de Newton en astronomie et de Shakespeare en poésie. » Depuis le temps de Watt, les perfectionnements ont porté principalement sur des détails, et ont consisté surtout dans l'extension des applications de la machine à vapeur.

LIVRE IV

LA LOCOMOTIVE

(1800-1850)

« Les inventions qui ont eu pour résultat d'abréger les distances, sont celles qui ont le plus contribué à la civilisation et au bonheur de l'espèce humaine. » — MACAULAY.

Le commencement du XIX[e] siècle trouva la machine à vapeur moderne complètement en état, en possession de ses organes essentiels, et donnant son travail dans une foule d'industries. Dans la poursuite des applications utiles de la vapeur, une première période se présente, avec les noms illustres de Worcester, de Morland, de Savery, de Desaguliers; vues à la lumière des merveilleux résultats obtenus de nos jours et préparés par ces premiers travaux, les tentatives de ces hommes de génie nous apparaissent avec un caractère de grandeur qui n'a pas toujours été justement apprécié.

La deuxième période, celle du développement de la machine à vapeur, nous offre des résultats pratiques devant lesquels s'effacent, pour ainsi dire, ceux obtenus dans la période précédente.

Eh bien, l'œuvre de Watt et de ses contemporains n'était elle-même qu'une simple préface aux progrès étonnants accomplis depuis lors, dans cette période moderne à laquelle nous arrivons; elle disparaît à son tour en comparaison des développements qu'ont pris dans le siècle actuel les industries mécaniques, et de la variété infinie des applications de la machine à vapeur.

Pendant la première période d'application, la machine à vapeur fut employée simplement à l'élévation de l'eau et à l'épuisement des mines; pendant la seconde, elle le fut à un nombre considérable de travaux utiles et se substitua partout à la puissance musculaire de l'homme et des animaux, à la force du vent et des chutes d'eau, les seuls moteurs connus avant cette époque. L'histoire du développement que prirent les diverses industries pendant cette



Fig. 43. — La première voiture marchant sur rails. 1825.

période, grâce à l'emploi de la vapeur, ne serait ni moins considérable ni moins intéressante que celle de la machine à vapeur elle-même.

Boulton et Watt avaient largement ouvert la voie; et l'année 1800 y vit entrer une foule d'ingénieurs et de manufacturiers, empressés de recueillir la moisson d'honneurs et de profits, qui semblait s'annoncer si riche pour eux tous. La dernière année du XVIII[e] siècle fut aussi la dernière des vingt-cinq que devait durer la société Boulton et Watt; avec elle expiraient les brevets, grâce auxquels cette maison avait tenu entre ses mains le grand monopole de la construction des machines à vapeur. Tout le monde avait maintenant le droit de fabriquer la machine à vapeur moderne. Au commencement du siècle, Watt se retira de la vie active des affaires. Boulton y resta encore attaché; mais il

n'était pas l'inventeur de la nouvelle machine et ne conservait pas les privilèges légaux dont il jouissait précédemment.

Le jeune Boulton et le jeune Watt n'étaient plus les Boulton et les Watt d'autrefois; et eussent-ils possédé tout le talent commercial et le génie inventif de leurs pères, ils n'auraient pu retenir entre leurs mains une industrie, dont le développement devenait maintenant beaucoup plus rapide que ne pouvait l'être celui de la puissance productive d'un seul établissement. Par toute l'Angleterre, même sur le continent européen et jusqu'en Amérique, des milliers de mécaniciens de profession et une foule d'autres personnes ayant du goût pour la mécanique, s'étaient familiarisés avec les principes de la nouvelle machine et méditaient sur le parti qu'on en pourrait tirer pour tous les travaux auxquels elle a été depuis appliquée. Une multitude d'ouvriers enthousiastes, un bien plus grand nombre encore de visionnaires et de rêveurs ignorants, essayaient de tous les procédés imaginables, dans le vain espoir d'arriver par quelques modifications ou perfectionnements, à la réalisation du mouvement perpétuel ou d'autres conceptions à peu près aussi absurdes. Partout où un ouvrier réussit à monter un atelier et à se faire une réputation locale dans le travail des métaux, on vit s'élever des établissements pour la construction des machines à vapeur; et un grand nombre des ouvriers de Watt quittèrent Soho pour prendre la direction des travaux dans ces nouvelles maisons. Presque toutes les grandes usines, aujourd'hui célèbres par leur étendue et l'importance de leur production, non seulement dans la Grande-Bretagne, mais en Europe et aux États-Unis, prirent naissance pendant cette seconde période de l'application de la machine à vapeur.

Les nouveaux établissements se formèrent, en général, par l'agrandissement d'anciens ateliers d'un caractère plus modeste, et furent dirigés par des élèves de Watt, ou par des hommes dont l'éducation s'était faite dans des conditions plus propres encore à leur aiguiser l'intelligence, c'est-à-dire, par ceux qui s'étaient longtemps efforcés de lutter, à force d'ingéniosité et d'habileté manuelle, contre la maison

de Soho, si puissante par son monopole et sa grande expérience des affaires.

Il fut d'abord extrêmement difficile de trouver des ouvriers habiles et consciencieux, et les outils employés à la construction des machines n'avaient pas atteint la même perfection que la machine elle-même. Néanmoins ces obstacles furent peu à peu surmontés et, dès lors, la nouvelle industrie prit un accroissement rapide.

Toutes les formes importantes de machine avaient maintenant été inventées. Watt avait perfectionné, avec l'aide de Murdoch, aussi bien la machine d'épuisement que la machine d'atelier. Il avait inventé la machine à fourreau, et Murdoch avait imaginé la machine oscillante et le tiroir glissant; il avait fait un modèle de machine locomotive, pendant que Hornblower introduisait la machine à deux cylindres. L'application de la vapeur à la navigation avait souvent été proposée, et quelquefois essayée avec assez de succès pour faire prévoir à l'observateur intelligent une réussite finale. Il ne restait plus qu'à étendre l'emploi du nouveau moteur à toutes les branches connues de l'industrie, et à effectuer les perfectionnements de détail dont l'expérience devait faire reconnaître la nécessité.

Les machines de Héron, de Porta et de Branca étaient, on s'en souvient, sans condensation; mais le premier projet d'une machine de cette espèce qui pût être de quelque utilité réellement pratique, est celui donné dans le *Theatrum machinarum* de Leupold, publié en 1720. Le dessin en est reproduit ci-contre (fig. 44). Leupold affirme que ce système fut proposé par Papin. La machine devait se composer de deux cylindres à simple effet *r*, *s*, recevant alternativement la vapeur que leur amenait un même tube muni d'un « robinet à quatre voies » *x*, lequel servait aussi à la faire écouler ensuite dans l'atmosphère. La vapeur est produite dans la chaudière *a*; et les pistons *c*, *d*, alternativement soulevés et abaissés, font descendre et monter les tiges de pompes *k*, *l*, auxquelles ils sont reliés par des balanciers *h*, *g*, oscillant autour des centres *i*, *i*. L'eau puisée par les pompes est refoulée dans le tuyau vertical *q* et s'écoule par son extré-

mité supérieure. Le mouvement alternatif des pistons est obtenu en tournant le robinet à quatre voies x, d'abord dans la position qu'il a sur la figure, puis dans la position inverse quand le piston a terminé sa course. La vapeur de la chaudière se trouve ainsi amenée dans le cylindre s, et celle du cylindre r s'échappe dans l'atmosphère[1].

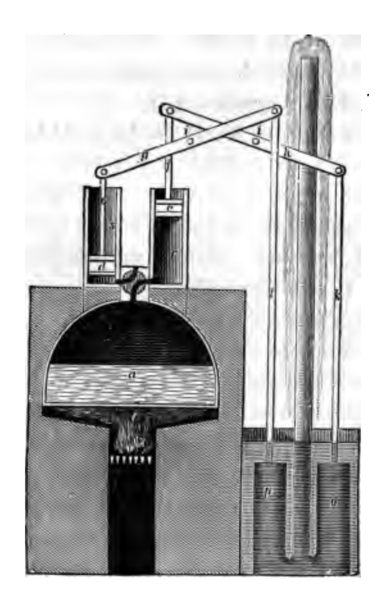


Fig. 41. — Machine de Leupold. 1720.

Leupold reconnaît qu'il doit à Papin l'idée du robinet à quatre voies. Il proposa aussi de se servir, pour élever l'eau, d'une machine Savery avec condensation. Nous n'avons aucune preuve que cette machine ait jamais été construite.

Le premier projet pour l'application de la vapeur à la locomotion sur terre fut probablement celui d'Isaac Newton, qui, en 1680, proposa la machine rudimentaire qu'on

1. Voir *Theatrum machinarum*, t. III, tableau 30.

voit représentée ci-dessous (fig. 45), et qui reproduit exactement le joujou scientifique dont sont pourvues presque toutes les collections d'instruments de physique. D'après la description qu'on en trouve dans l'*Explication de la philosophie newtonienne*, elle se compose d'une chaudière sphérique B, montée sur une voiture. La vapeur, s'échappant d'un tube C qu'on aperçoit dirigé vers l'arrière, pousse, par un effet de réaction, la voiture en avant. Le conducteur, assis en A, règle la sortie de la vapeur au moyen du levier E et du robinet F. Le foyer est en D.

Lorsque, à la fin du XVIII[e] siècle, la machine à vapeur fut

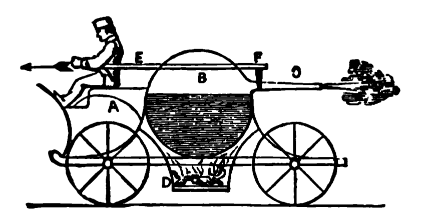


Fig. 45. — Voiture à vapeur de Newton, 1680.

devenue assez parfaite pour qu'il devînt évidemment possible de l'appliquer à la locomotion, une foule d'inventeurs attaquèrent ce problème.

Dès 1759, le docteur Robison l'avait proposé à James Watt, dans un de leurs entretiens, à une époque où ce dernier était plus ignorant encore que son ami des principes sur lesquels repose la construction de la machine à vapeur; et cette conversation a pu avoir quelque influence en déterminant Watt à continuer ses recherches. Ce fut là peut-être le point de départ de cette série de méditations et d'expériences, qui finalement lui valurent sa magnifique renommée.

En 1765, le docteur Erasmus Darwin, ce singulier génie aussi célèbre comme poète et philosophe que comme médecin, pressa Matthew Boulton, — le futur associé de Watt, qui se trouvait justement alors en correspondance avec l'Américain Franklin sur la question de l'emploi de la vapeur,

— de construire une voiture à vapeur ou « char flamboyant », comme il l'appelait poétiquement, dont il dessina lui-même une série de plans. Un jeune homme nommé Edgeworth s'intéressa dans l'affaire, et, en 1768, publia un mémoire qui lui valut une médaille d'or de la Société des Arts. Il y proposait l'établissement de routes garnies de rails, sur lesquels les voitures eussent été traînées par des chevaux *ou par des cordes enroulées sur un cabestan mû par la vapeur.*

Nathan Read, dont il sera parlé plus loin à propos de

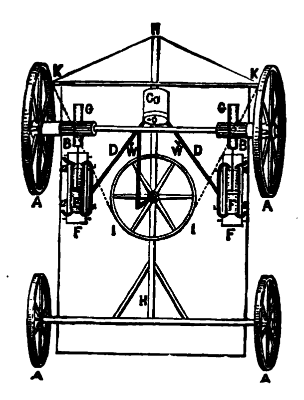


Fig. 46. — Voiture à vapeur de Read. 1790.

la tentative qu'il fit pour l'introduction de la navigation à vapeur, projeta et fit breveter en 1790, une voiture à vapeur dont le croquis donné (fig. 46) a été copié sur le grossier dessin joint à la demande de brevet. Dans la figure, AAAA sont les roues, BB des pignons portés sur les moyeux des roues d'arrière, qui sont mises en mouvement par le moyen des crémaillères GG fixées aux tiges des pistons ; C*o* chaudière ; DD tuyaux amenant la vapeur aux cylindres EE ; FF châssis ; H avant-train mobile, manœuvré par un volant horizontal, au moyen des cordes ou chaînes IK, IK ; WW robinets qui servent à interrompre au besoin l'arrivée de la vapeur et à en régler l'admission. Les tuyaux *a, a,* sont les conduits d'échappement, dont l'inventeur proposait de diri-

ger l'ouverture vers l'arrière, afin d'utiliser l'effet de réaction de la vapeur expulsée (1).

Read fit un modèle de sa voiture à vapeur, qu'il exposa publiquement pour essayer de se procurer les ressources nécessaires à l'exécution; mais il semble s'être surtout attaché à la navigation à vapeur, et ne donna pas de suite à ses plans.

Jusqu'alors on n'avait fait que des projets. La première expérience sérieuse fut faite, à ce que l'on croit, par un officier français, Nicolas-Joseph Cugnot, qui, en 1769, construisit une voiture à vapeur, que l'on fit fonctionner en présence



Fig. 47. Voiture à vapeur de Cugnot. 1770.

du ministre de la guerre, le duc de Choiseul. Les fonds nécessaires avaient été fournis à l'inventeur par le comte de Saxe. Encouragé par le demi-succès de cette première locomotive, il en construisit, en 1770, une seconde (fig. 47), que l'on peut voir encore au Conservatoire des arts et métiers à Paris.

Cette machine, lors de l'examen que j'en ai fait récemment, était encore dans un excellent état. La voiture et le mécanisme sont solidement construits, soigneusement travaillés, et constituent une œuvre digne d'éloges à tous les points de vue. C'est une véritable surprise pour l'ingénieur, de trouver une aussi belle exécution dans l'ouvrage construit par le mécanicien Brezin, il y a un siècle. Les cylindres à vapeur avaient 13 pouces de diamètre, et la machine était évidemment d'une grande puissance. Cette locomotive était destinée au transport de l'artillerie. Elle se compose de deux

poutres de fort équarrissage s'étendant d'un bout à l'autre, supportées en arrière par deux roues très solides et, en avant, par une autre plus lourde, mais plus petite. Cette dernière porte sur tout son pourtour des parties saillantes, destinées à mordre dans le sol lorsqu'elle tourne, de façon à lui donner plus de prise. La roue unique est mise en mouvement par deux machines à simple effet, une de chaque côté, auxquelles la vapeur est fournie par une chaudière qu'on voit sur le dessin à l'avant de la voiture. Le mouvement était communiqué à la roue au moyen de rochets, comme l'avait proposé Papin ; il pouvait être renversé quand on voulait faire marcher la voiture en arrière. Sur le corps du véhicule est un siège pour le conducteur, qui dirige la machine par le moyen d'une série d'engrenages, permettant de déplacer tout le système de 15° ou 20° dans un sens ou dans l'autre. Le plan général de construction de cette locomotive parut assez satisfaisant ; mais la chaudière était trop petite et l'appareil dirigeant ne permettait pas de manœuvrer rapidement la voiture.

La mort de l'un des protecteurs de Cugnot, et l'exil de l'autre, mirent fin à ses expériences.

Cugnot s'occupait de mécanique par goût, et il y fit preuve d'un grand talent. Il était de Vaud en Lorraine, où il naquit en 1725. Il servit dans les armées de France et d'Allemagne. Pendant qu'il était sous les ordres du maréchal de Saxe, il construisit sa première locomotive à vapeur qui n'échoua, comme il le dit, que par suite du manque d'efficacité des pompes alimentaires. La seconde fut celle construite sous le patronage du duc de Choiseul et coûta 20,000 livres. Cugnot recevait du gouvernement français une pension de 600 livres. Il mourut en 1804 à l'âge de soixante-dix-neuf ans.

Watt avait de très bonne heure proposé d'appliquer sa machine à la locomotion ; il songeait à employer, soit une machine sans condensation, soit un condenseur à surface refroidi simplement par l'air. Il fit comprendre expressément la machine locomotive dans son brevet de 1784 ; et son aide Murdoch construisit cette même année un

modèle de locomotive (fig. 48) qui pouvait marcher à grande vitesse. Ce modèle, maintenant déposé au musée des brevets de South Kensington à Londres, était muni d'une chaudière à carneaux, et son cylindre avait 3/4 de pouce de diamètre, la course du piston étant de 2 pouces. Les roues motrices avaient un diamètre de 9 pouces et demi.

Rien toutefois ne fut exécuté sur une plus grande échelle ni par Watt ni par Murdoch, leur attention à tous deux

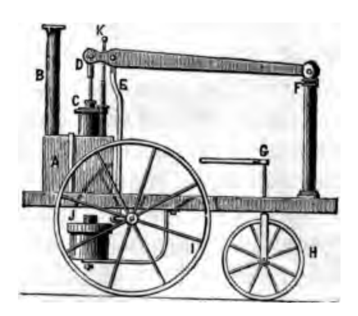


Fig. 48. — Modèle de Murdoch. 1784.

étant tout entière absorbée par la construction et l'introduction d'autres machines. Le modèle de Murdoch développait, dit-on, une vitesse de 6 à 8 milles à l'heure, ses petites roues motrices faisant de 200 à 275 tours par minute. Comme on le voit par la figure, la machine dont ce modèle était pourvu était de l'espèce appelée « machine-sauterelle », qui fut employée aux États-Unis par Olivier Evans.

« C'est à Olivier Evans, dit le Dr Ernest Alban, ingénieur allemand distingué, qu'il était réservé de montrer la valeur véritable d'un principe depuis longtemps connu, et d'établir sur cette base une méthode nouvelle et plus simple pour appliquer la puissance de la vapeur ; méthode qui rend impérissable le nom de celui qui l'a mise en pratique. » Le Dr Alban fait ici allusion à la première application couronnée de succès de la machine à vapeur à haute pression et sans condensation.

Olivier Evans, l'un des plus ingénieux mécaniciens que l'Amérique ait jamais produits, naquit à Newport (Delaware), en 1755 ou 1756; sa famille était dans une position très modeste.

Il fut dans sa jeunesse apprenti chez un charron, et fit bientôt preuve d'un grand talent mécanique et d'un vif



Fig. 49. — Olivier Evans.

désir de s'instruire. Son attention se trouva de bonne heure attirée sur la possibilité d'appliquer la force de la vapeur à des usages utiles, et cela, par une farce d'un de ses camarades : le jeune drôle, ayant versé un peu d'eau dans un canon de fusil et enfoncé par-dessus un tampon bien serré, mit le tout dans le feu de forge d'un serrurier. La détonation violente, dont fut accompagnée l'expulsion du tampon vint révéler au jeune Evans l'existence d'une force considérable, et que personne jusqu'alors (il le croyait du moins) n'avait encore découverte.

Plus tard, ayant trouvé une description de la machine de Newcomen, il remarqua immédiatement que la force élastique de la vapeur n'y était pas utilisée. Il fit alors le plan de la machine sans condensation, dans laquelle la puissance motrice était uniquement produite par la tension de la vapeur à haute pression, et il proposa de l'appliquer à la propulsion des voitures.

Vers 1780, Evans alla retrouver ses frères, qui étaient meuniers, et appliqua ses facultés d'inventeur à perfectionner les détails du mécanisme de leur moulin. Il y réussit au point de réduire de moitié les frais de surveillance, tout en obtenant de plus belle farine. Il se montra très habile meunier.

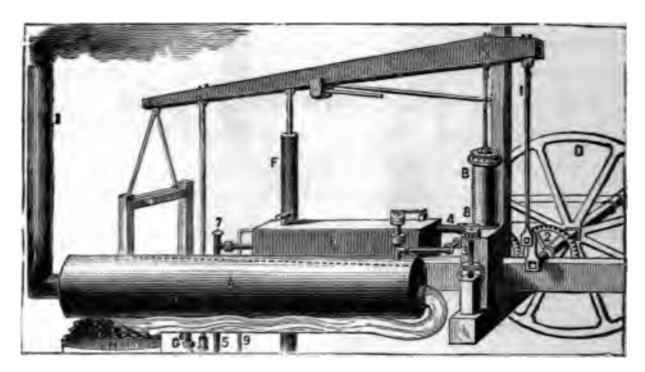


Fig. 59. — Machine sans condensation d'Evans, 1800.

En 1786, il fit, à la Chambre législative de Pensylvanie, une demande de brevet, pour l'application de la machine à vapeur à faire marcher les moulins et les voitures ; mais sa demande fut rejetée. En 1800 ou 1801, après avoir pris l'avis du professeur Robert Patterson, de l'université de Pensylvanie, et avoir obtenu de lui l'approbation de ses plans, Evans commença la construction d'une voiture à vapeur qui devait être mue par une machine sans condensation. Toutefois il réfléchit bientôt qu'il ferait pécuniairement une meilleure affaire en appliquant sa machine, qui était nouvelle de forme et d'une installation peu coûteuse, comme force

motrice pour les fabriques. Il modifia ses plans en conséquence, construisit une machine dont le cylindre avait 6 pouces de diamètre et le piston 18 pouces de course, et l'employa avec un succès complet à faire marcher un moulin à plâtre.

Cette machine, qu'il appela « machine colombienne », était d'une forme particulière, comme on le voit dans la figure 50. Le balancier est supporté à l'une de ses extrémités par une colonne oscillante; à l'autre il est fixé directement à la tige du piston, tandis que la manivelle se trouve au-dessous du balancier, la bielle 1 étant attachée tout à fait au bout de ce dernier. La tête de la tige du piston est guidée suivant une ligne verticale par le « parallélogramme d'Evans », dispositif analogue à l'un de ceux imaginés par Watt. Dans le dessin ci-dessus, 2 est la manivelle, 3 l'appareil distributeur, 4 le tube amenant la vapeur de la chaudière, E; 5 6 7, le tube d'alimentation partant de la pompe F. A est la chaudière; la flamme, venant du feu placé sur la grille H, passe sous la chaudière entre deux murs de brique et revient par un carneau central à la cheminée I.

Plus tard Evans étendit les applications de sa machine et en perfectionna les détails; d'autres inventeurs ayant suivi ses traces, la machine sans condensation justifie aujourd'hui les prédictions qu'il faisait il y a soixante-dix ans :

« Je ne doute pas que mes machines n'arrivent à faire marcher des bateaux contre le courant du Mississipi, et des voitures sur les grandes routes, avec grand profit....

« Le temps viendra où l'on voyagera d'une ville à l'autre, dans des voitures mues par des machines à vapeur et marchant aussi vite que les oiseaux peuvent voler, 15 ou 20 milles à l'heure.... Une voiture partant de Washington le matin, les voyageurs déjeuneront à Baltimore, dîneront à Philadelphie et souperont à New-York le même jour...

« Des machines feront faire aux bateaux 10 à 12 milles par heure, et l'on verra des centaines de steamers courir

sur le Mississipi, conformément aux prédictions faites il y aura alors bien des années. »

En 1804, Evans se servit d'une de ses machines pour transporter un grand bateau à fond plat, construit par ordre du Bureau sanitaire de Philadelphie, pour le nettoyage des bassins le long des quais de la ville. Il monta le bateau sur des roues, y plaça une machine de 5 chevaux de force, et nomma cet étrange véhicule : « Oruktor Am-

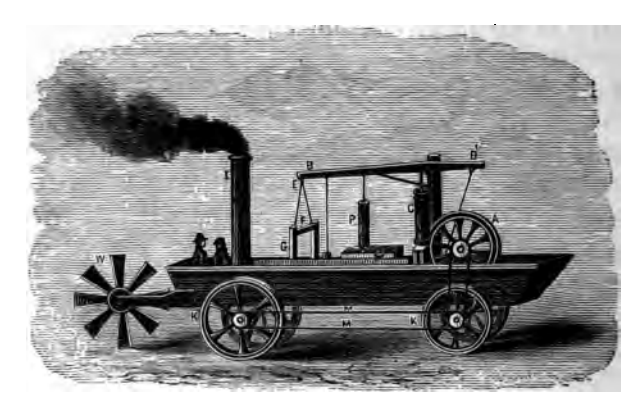


Fig. 51. — L'*Oruktor amphibolis*, d'Evans. 1804.

phibolis » (fig. 51). Cette dragueuse à vapeur, pesant environ 4,000 livres, fut traînée par la machine depuis le chantier, en remontant la rue du marché (Market street), contourna l'établissement des eaux, et fut lancée dans la Schuylkill. La machine à vapeur fut ensuite appliquée à la roue à aubes qui se trouvait à l'arrière, et conduisit le bateau sur la rivière jusqu'à son confluent avec la Delaware.

En septembre de la même année, Evans soumit à la *Lancaster Turnpike Company*[1] un exposé des recettes et dépenses probables du transport à vapeur sur les routes ordinaires, en admettant des voitures chargées de 100 barils

1. Compagnie adjudicataire des barrières à péage (*turnpikes*), installées sur les grandes routes aux États-Unis comme en Angleterre. *(N. du trad.)*

de farine et marchant à raison de 50 milles en 24 heures; chacune de ces voitures aurait remplacé 10 chariots attelés de 5 chevaux.

Dans le dessin ci-dessus donné de l'*Oruktor Amphibolis*, on voit que la machine ressemble à celle précédemment décrite. La roue A est mise en mouvement par une bielle suspendue à l'extrémité d'un balancier BB', dont l'autre extrémité est soutenue en F par le cadre EFG. Le corps de la machine est porté sur des roues KK, auxquelles des courroies MM transmettent le mouvement de la poulie placée sur l'arbre qui porte la roue A. On voit en W la roue à palettes. Quelque temps auparavant, Evans avait envoyé Joseph Sampson en Angleterre, avec des copies de ses plans, que celui-ci fit voir à Trevithick, Vivian et autres ingénieurs anglais.

Entre autres inventions, la chaudière à carneau intérieur, aujourd'hui d'un usage général dans le Cornouailles, et celle à deux carneaux du Lancashire, furent imaginées et employées par Evans.

Vers le temps où il était occupé de sa dragueuse à vapeur, Evans était en relation avec MM. Mc-Keever et Valcourt, qui signèrent avec lui un traité pour la construction d'une machine, destinée à un bâtiment à vapeur qui devait faire le service entre la Nouvelle-Orléans et Natchez sur le Mississipi; la coque du navire devait être construite sur le fleuve et la machine envoyée dans la première de ces deux villes pour y être montée à bord. Des difficultés financières et les basses eaux empêchèrent l'achèvement du steamer; de sorte que la machine fut employée pour faire marcher une scierie, où elle débitait du bois à raison de 250 pieds de planches par heure; elle fut détruite par un incendie.

Evans ne parvint jamais à obtenir en Amérique d'aussi grands succès que Watt dans la Grande-Bretagne; il n'en continua pas moins à construire des machines à vapeur jusqu'à sa mort, arrivée le 19 avril 1819, et eut pour successeurs ses deux gendres, James Rush et David Muhlenberg.

Il montra autant d'intelligence et d'ingéniosité à per-

fectionner les procédés de mouture qu'à apporter des améliorations dans ses affaires de meunerie. Il n'avait que vingt-quatre ans lorsqu'il inventa une machine à faire les dents de cardes en fil métallique, pour le travail du coton et de la laine; cette machine en faisait 3,000 par minute. Un peu plus tard il inventa une machine à poser les cardes, qui coupait le fil de la bobine, pliait les dents et les plantait dans la monture. Pour les moulins, il inventa toute une série de machines et de combinaisons mécaniques, telles que l'élévateur, le transporteur (*conveyor*), la trémie (*hopper-box*), la *vis d'Archimède* (*drill*), le *descender;* le meunier put ainsi faire de plus belle farine, gagner plus de 20 livres par baril, et obtenir ces résultats avec moitié moins de frais de conduite. L'adoption de ces perfectionnements aux moulins Ellicot près de Baltimore, où l'on faisait 325 barils de farine par jour, permit de réaliser une économie évaluée à 5,000 dollars par an sur les frais de main-d'œuvre, et à plus de 30,000 par l'augmentation des produits obtenus. Il écrivit *le Guide du jeune mécanicien à vapeur* [1] et un ouvrage qui continua à faire autorité bien des années après sa mort : *le Guide du jeune constructeur de moulins* [2] ». Moins heureux que son rival d'Europe, il n'en fut pas moins également digne de célébrité. On l'a quelquefois appelé « le Watt de l'Amérique ».

L'application de la vapeur à la locomotion sur les routes ordinaires réussit beaucoup mieux dans la Grande-Bretagne qu'aux États-Unis. Dès 1786, William Symmington, qui, par la suite, fut plus heureux dans ses efforts pour introduire la propulsion à vapeur dans la marine, construisit, avec l'aide de son père, un modèle de voiture à vapeur, qui toutefois ne conduisit pas à d'importants résultats.

En 1802, Richard Trevithick, un des élèves de Murdoch, dont le nom se trouva plus tard intimement lié à la création des chemins de fer, construisit un modèle de voiture à vapeur qui fut breveté la même année. On peut voir encore

1. *The Young Steam-Engineer's Guide.*
2. *The Young Millwright's Guide.*

ce modèle au musée des Brevets à South Kensington [1].

Dans cette machine, on employait la vapeur à haute pression sans condensation. La chaudière était de la forme imaginée par Evans, et fut plus tard généralement adoptée dans le Cornouailles, où on lui donna le nom de « Chaudière Trevithick ». La machine n'avait qu'un cylindre, et la tige du piston faisait mouvoir un té maintenu par des guides, qui se reliait, par deux tiges latérales, avec une traverse placée de l'autre côté de l'arbre. La bielle attachée à cette traverse et à la manivelle « revenait » vers le cylindre, l'arbre se trouvant entre celui-ci et la traverse. Ce fut probablement là le premier exemple de la « machine à bielle renversée » (*return connecting-rod engine*) maintenant si répandue. L'arbre, mû par la manivelle, se reliait aux roues de la machine au moyen d'un engrenage; cet arbre faisait aussi mouvoir la distribution et les pompes alimentaires. L'inventeur proposait d'empêcher au besoin les roues de patiner, à l'aide de boulons placés en saillie sur leur pourtour et qui s'enfonceraient dans le sol. La première voiture en vraie grandeur fut construite par Trevithick et Vivian à Camborne en 1803, et, après essai, conduite à Londres, où elle fut exposée à la vue du public. Elle fit la route sous l'action de ses machines jusqu'à Plymouth, — 90 milles de Camborne, — puis elle fut embarquée. On ne sait si l'inventeur perdit foi dans son invention; mais peu après il démolit la machine, vendit séparément la voiture et le moteur, puis retourna dans le Cornouailles, où il se mit bientôt à travailler à une locomotive pour chemin de fer.

En 1821, Julius Griffiths de Brompton (Middlesex), en Angleterre, fit breveter une voiture à vapeur pour le transport des voyageurs sur les grandes routes. Sa première locomotive routière fut construite la même année par Joseph Bramah, l'un des plus habiles mécaniciens du temps. Le châssis portait une caisse à deux compartiments entre les deux essieux, et le mécanisme était placé au-dessus et en

1. Voir *Life of Trevithick*.

arrière de l'essieu postérieur. Un homme, debout sur une plate-forme à l'arrière, gouvernait la machine et entretenait le feu, tandis qu'un autre, à l'avant, manœuvrait la roue directrice. La chaudière était composée de tubes à eau et de tubes à vapeur horizontaux, ces derniers étant disposés de façon à recevoir la chaleur des gaz du foyer dans leur trajet vers la cheminée, et faisant ainsi l'office de surchauffeurs. Les roues étaient mises en mouvement, au moyen d'un engrenage intermédiaire, par deux machines à vapeur ; tous les organes étaient suspendus sur des ressorts en hélice, pour empêcher les chocs et les soubresauts de désorganiser le mécanisme. On faisait usage d'un condenseur à surface, consistant en une série de minces tubes de métal aplatis, refroidis simplement par le contact de l'air extérieur ; et on se débarrassait de l'eau de condensation, accumulée à l'intérieur, au moyen d'une pompe alimentaire, qui la refoulait dans la rangée inférieure des tubes de la chaudière.

Celle-ci ne se trouva pas assez grande pour un travail continu ; mais la voiture fit de temps à autre des voyages d'expérience pendant quelques années.

Pendant les dix années suivantes, l'application de la machine à vapeur aux transports par terre continua d'attirer l'attention, et la construction de machines routières d'essai devint fréquente. Les défauts de ces machines se révélant d'eux-mêmes lors des épreuves, on les corrigea l'un après l'autre, et les locomotives routières prirent peu à peu une forme satisfaisante au point de vue mécanique. Un moment leur adoption définitive ne sembla plus être qu'une question de temps ; leur insuccès tint à des causes que le législateur et le public, mais non l'ingénieur, eussent pu seuls écarter, aussi bien qu'au développement de la locomotion à vapeur par une autre méthode.

En 1822, David Gordon fit breveter une machine routière ; mais on ignore si elle fut jamais construite. A peu près vers la même époque M. Goldsworthy Gurney, qui plus tard prit une part active à l'introduction de ces machines, exposait dans ses conférences « qu'on peut, avec de très grands avantages politiques, appliquer une force naturelle

à la propulsion des voitures sur les routes ordinaires, et que l'état des connaissances actuelles permet d'atteindre ce résultat ». Il construisit une machine à ammoniaque, — la première probablement qu'on ait exécutée, — et la fit fonctionner avec tant de succès, qu'il s'en servit pour faire marcher une petite locomotive.

Deux ans après, Gordon fit breveter une disposition curieuse, que du reste Brunton avait indiquée déjà douze ans auparavant, et qui fut de nouveau proposée dans la suite par Gurney et d'autres encore. Son système consistait à munir la machine d'un certain nombre de jambes articulées, imitant le mieux possible l'action de celles du cheval. Ce dispositif fut effectivement expérimenté, jusqu'à ce qu'on eût constaté qu'il ne pouvait fonctionner d'une manière satisfaisante, et que, de plus, il n'était pas nécessaire.

Dans le même temps, Burstall et Hill présentaient une voiture à vapeur et essayaient en vain, à plusieurs reprises, de faire adopter leur système. La machine qu'ils employaient ressemblait à celle d'Evans, sauf que le cylindre à vapeur se trouvait à l'extrémité du balancier, et l'arbre de couche au-dessous de la partie médiane. Les roues d'avant et d'arrière étaient reliées par un arbre longitudinal et un engrenage conique. La chaudière présentait le défaut habituel de ne pas produire assez de vapeur, et n'en fournissait que pour une vitesse de 3 ou 4 milles à l'heure. Le résultat fut un insuccès coûteux. En 1824-1825, William H. James, de Londres, proposa divers moyens pour porter sur des ressorts tous les organes de la machine, ainsi que le corps de la voiture elle-même, sans d'ailleurs modifier en rien leur fonctionnement; et MM. Seaward firent breveter des dispositifs semblables. En 1826, Samuel Brown présenta une machine à gaz, dans laquelle le piston était mû par la pression que produisait la combustion du gaz, en même temps qu'on obtenait un vide par la condensation de la vapeur d'eau formée. Brown construisit une locomotive ayant pour propulseur un appareil de cette espèce. Il put remonter la côte de Shooter's Hill près de Londres ; et la principale cause de son insuccès final semble avoir été

le prix trop élevé auquel revenait le fonctionnement de sa machine.

Depuis lors, pendant plusieurs années, de nombreux inventeurs et mécaniciens semblent avoir consacré tout leur temps à cet attrayant problème. Parmi eux Burstall et Hill, Gurney, Ogle et Summers, sir Charles Dance et Walter Hancock, furent les plus heureux.

En 1827, Gurney construisit une voiture à vapeur, dont il se servit pendant deux ans à Londres et aux environs, faisant parfois de très longs voyages. Un jour il alla de Meksham à Cranford Bridge, parcourant en 10 heures, arrêts compris, une distance de 85 milles. Il se servait des jambes mécaniques, précédemment adoptées par Brunton et Gordon ; mais il renonça à cette disposition grossière dans les machines qu'il confectionna plus tard.

La machine de Gurney, de 1828, est intéressante pour l'ingénieur, en ce qu'elle présente un excellent agencement

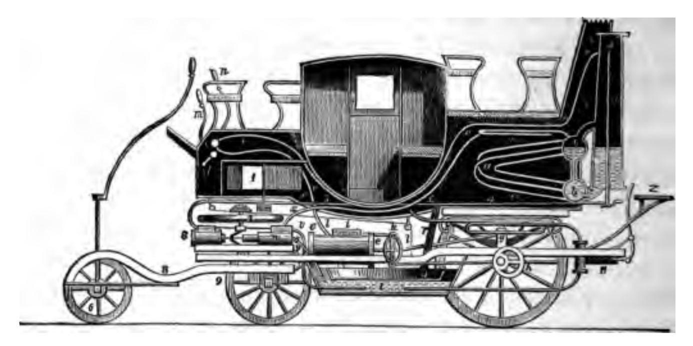


Fig. 52. — Voiture à vapeur de Gurney. 1828.

de mécanisme, et l'un des premiers exemples d'une « chaudière à compartiments ». Cette dernière était d'une forme toute particulière, et différait beaucoup de celle du même type inventée, un quart de siècle auparavant, par John Stevens aux États-Unis.

Dans le dessin (fig. 52), on voit cette chaudière sur la droite; elle se composait de tubes *a*, *a*, recourbés en forme

de ◁, communiquant avec deux cylindres *b*, *b* dont le plus élevé faisait office de réservoir de vapeur. Des tubes verticaux réunissaient ces deux cylindres et permettaient une circulation complète et régulière de l'eau. Un réservoir spécial *d*, appelé le séparateur, communiquait avec ces récipients par des tuyaux, comme le montre la figure. C'est du sommet de ce séparateur que partait le tube d'admission *eee*, qui conduisait la vapeur aux cylindres de la machine en *f*. Les manivelles *g* de l'essieu postérieur étaient actionnées par les machines, et l'excentrique *h*, porté par le même essieu, actionnait la distribution et la valve *i* de changement de marche. La pièce *kl* étant manœuvrée par un cordeau *lll*, qui partait du siège du conducteur, on pouvait faire avancer la voiture, l'arrêter ou la porter en arrière ; il suffisait pour cela de mettre la tige de la valve *i* en relation avec le haut, le milieu ou le bas de la pièce *kl*. On voit, au centre de sa bague elliptique, l'axe autour duquel oscillait cette pièce. La soupape-registre *o*, qui réglait l'admission de la vapeur dans la machine, était manœuvrée par le levier *n*. Le tuyau d'échappement *p* conduisait au réservoir *q*, et la vapeur non condensée se rendait à la cheminée *ss* par le tuyau *rr*. La pompe foulante *u*, puisant l'eau d'alimentation dans le réservoir *t*, l'amenait à la chaudière par le tuyau *xxx* qui s'enroulait en hélice dans la boîte à fumée, échauffant ainsi l'eau avant de l'introduire. L'alimentation était réglée par le robinet *y*. Le conducteur de la machine était assis en *z*. Une soufflerie 1 était actionnée par une machine indépendante, 2 3, et produisait un tirage forcé, qui venait agir sur le fourneau par la conduite d'air 5 5 ; 4 4 représente le tube d'admission de cette petite machine soufflante. La roue directrice 6 était manœuvrée par un levier 7, et les déviations horizontales du brancard 8, qui tournait en 9, autour d'une cheville-ouvrière, donnaient la direction voulue aux roues de l'avant et à toute la voiture.

Telle semble avoir été une des voitures à vapeur les mieux entendues de cette époque. La chaudière, construite pour supporter 70 livres de pression par pouce carré, était

solide et offrait une sécurité complète, car on l'avait éprouvée à une pression de 800 livres. La cheminée était munie d'un tirage forcé. Les machines étaient commodément placées et d'une forme heureuse. La distribution était disposée pour produire la détente à mi-course du piston. L'eau d'alimentation était chaude et la vapeur surchauffée légèrement. La chaudière de Gurney a été reproduite, sous de nouvelles désignations, par des inventeurs plus modernes; on en fait encore usage, et elle donne des résultats satisfaisants.

Divers autres constructeurs de voitures à vapeur firent aussi usage, en la modifiant légèrement, de la « chaudière tubulaire ». Anderson et James employaient pour cet objet des tubes de fer soudés à recouvrement, de 1 pouce de diamètre intérieur et d'une épaisseur de 1/5 de pouce. Ils les présentaient comme offrant une sécurité parfaite. De tels tubes devaient avoir en effet une force suffisante pour résister à une pression de 20,000 livres par pouce carré. Fabriqués avec de bon fer, « qui prêtait comme du plomb, » disaient-ils, ces tubes, en cas de rupture, se seraient simplement déchirés et vidés, sans entraîner les conséquences, ordinairement si graves, de l'explosion des chaudières à vapeur.

Le principe fondamental du générateur à compartiments était donc dès lors bien compris. Les chaudières d'Ogle & Summers se composaient de tubes verticaux disposés deux par deux l'un dans l'autre; l'espace intermédiaire était rempli d'eau et de vapeur, tandis que la flamme circulait au dedans du tube interne et au dehors du tube extérieur de chaque couple.

Une des machines de sir James Anderson et W.-H. James fut construite en 1829. Elle avait 2 cylindres de 3 1/2 pouces qui faisaient mouvoir les roues d'arrière séparément. Dans le premier système de James (1824-1825), 2 cylindres étaient affectés à chacune des moitiés de l'essieu postérieur, et disposés de manière à faire tourner deux manivelles à angle droit. La dernière machine pesait 3 tonnes, et, sur une route raboteuse et sablée

qui traversait la forêt d'Epping, elle transporta 15 voyageurs avec une vitesse de 12 à 15 milles par heure. La pression de la vapeur fut poussée jusqu'à 300 livres par pouce carré. Plusieurs tubes cédèrent aux soudures, mais la voiture n'en effectua pas moins son voyage de retour, en portant 24 voyageurs sur le pied de 7 milles à l'heure. Dans un autre essai, avec de nouvelles chaudières, elle put faire de nouveau ses 15 milles dans le même temps. Pourtant elle était sujette à de fréquents accidents et on finit par l'abandonner.

Walter Hancock fut le plus persévérant et le plus heureux de tous ceux qui essayèrent d'employer la vapeur sur les routes ordinaires. En 1827, il avait fait breveter un générateur d'une forme si particulière qu'il mérite une description. Il consistait en une série de compartiments aplatis dont les parois étaient en tôle à chaudière. Ces compartiments ou chambres étaient disposés côte à côte, réunis latéralement par des tubes et des entretoises, et communiquaient tous, par de courts tubes verticaux, avec un gros tuyau horizontal placé en travers et au-dessus, et qui servait de réservoir de vapeur ou séparateur. Ce premier spécimen des « chaudières à galeries en tôle » fit un excellent service sur les voitures à vapeur de Hancock ; et l'expérience prouva qu'elles ne présentaient que peu ou point de danger d'explosion.

La première voiture de Hancock était montée sur 3 roues, la roue directrice étant disposée pour pivoter autour d'une cheville-ouvrière, et mue par une paire de cylindres oscillants reliés à un essieu coudé. Toute la machine tournait en suivant le mouvement de la roue dirigeante. Cette voiture était loin d'être parfaite ; mais elle n'en fonctionna pas moins pendant longtemps et parcourut plusieurs centaines de milles, sans jamais rester en route.

Il y avait à cette époque une demi-douzaine de voitures à vapeur en construction pour Hancock, Ogle & Summers, et sir Charles Dance.

En 1831, Hancock installa une nouvelle voiture sur la route de Londres à Stratford où elle fit un service régulier.

Cette même année, Dance en mit une autre sur la route de Cheltenham à Glowcester, où elle circula du 21 février au 22 juin. Pendant ces quatre mois, elle parcourut 3,500 milles et transporta 3,000 passagers. Elle faisait son trajet de 9 milles habituellement en 55 minutes, et quelquefois en trois quarts d'heure. Il ne lui arriva jamais d'autre accident que la rupture d'un essieu, occasionné par la rencontre d'un tas de pierres, que des ennemis du nouveau mode de transport avaient disposées sur la route par malveillance.

La voiture d'Ogle & Summers atteignit, dans un essai fait par Ogle devant une Commission de la Chambre des communes, une vitesse de 32 à 35 milles par heure, et de 24 1/2 milles, en remontant une côte près de Southampton. Elle supportait une pression de 250 livres et parcourut 800 milles sans accident.

Le colonel Macerone, en 1833, fit circuler une voiture à vapeur de son invention entre Londres et Windsor, transportant 11 voyageurs et parcourant en deux heures la distance de 23 1/2 milles. La même année, sir Charles Dance fit parcourir à sa voiture 16 milles à l'heure et fit de longues excursions sur le pied de 9 milles à l'heure. Enfin un autre expérimentateur encore, Heaton, parvint à monter jusqu'au sommet de Lickey-Hill, entre Worcester et Birmingham, sur des rampes allant jusqu'à 1/9 et même 1/8. Cette route passait pour la plus mauvaise d'Angleterre. La machine remorquait une diligence contenant 20 voyageurs.

Parmi tous ces inventeurs et bien d'autres, Hancock fut encore celui qui réussit le mieux. Sa voiture, appelée l'*Infante*, qui commença à fonctionner en février 1831, faisait, un an plus tard, un service régulier entre la Cité de Londres et Paddington. Une autre appelée l'*Éra* construite pour la Compagnie des voitures à vapeur de Londres à Greenwich, eut, mécaniquement parlant, un vrai succès; malheureusement la Compagnie ne put se soutenir au point de vue financier. En octobre 1832, l'*Infant* alla de Londres à Brighton avec 11 voyageurs, à raison de 9 milles à l'heure; elle monta Redhill avec une vitesse de 5 milles. On fit 38 milles le premier jour;

on s'arrêta pour la nuit à Hazledean, et le lendemain on atteignit Brighton en faisant 11 milles à l'heure. En revenant avec 15 voyageurs, la voiture fit 1 mille en moins de quatre minutes, et en parcourut 10 en cinquante-cinq minutes. Un voyage de Stratford à Brighton fut exécuté en moins de dix heures, à une vitesse moyenne de 12 milles par heure de marche, la durée réelle du trajet, en dehors des arrêts, n'ayant pas atteint six heures.

L'année suivante, une autre voiture, l'*Entreprise*, fut établie par Hancock sur la route de Paddington pour une nouvelle Compagnie, et fonctionna régulièrement pendant plus de quinze jours; mais cette Compagnie fut également malheureuse. Dans l'été de 1833, le même inventeur produi-

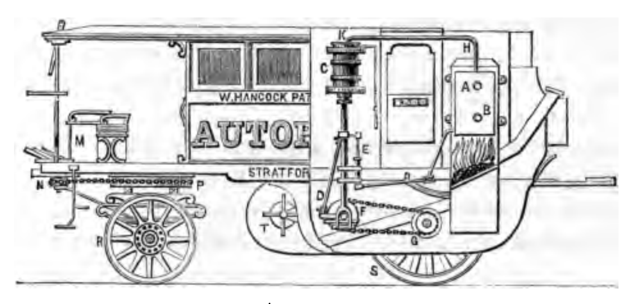


Fig. 53. — L'*Autopsie* de Hancock. 1833.

sit une autre voiture à vapeur, l'*Autopsie* (fig. 53), qu'il conduisit jusqu'à Brighton; puis, revenant à Londres, il y dirigea sa voiture dans les rues les plus animées sans difficulté ni accident. Il parcourait du reste à toute heure la capitale sans la moindre hésitation. La voiture fit ensuite régulièrement, pendant quatre semaines, le service entre Finsbury Square et Pentonville, sans accident ni retard. Dans la figure, on a enlevé une portion des parois pour laisser voir le mécanisme intérieur. La chaudière AB envoie de la vapeur par le tuyau d'admission HK, à la machine CD, reliée à l'arbre coudé F. La pompe alimentaire est en E. L'essieu postérieur G est actionné par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin, qui le met en relation avec

l'arbre de la machine et entraîne dans sa rotation les roues d'arrière S. Une soufflerie T produit un tirage forcé. Le conducteur s'assied en M, et dirige la voiture au moyen de la roue N, solidaire de la couronne P, donnant ainsi à l'essieu d'avant telle position qu'il désire.

En 1834, Hancock construisit, pour une Compagnie autrichienne, un « remorqueur » à vapeur qui, portant 10 personnes et traînant après lui une voiture contenant 6 voyageurs, fut conduit à travers la ville jusqu'au delà d'Islington, faisant 14 milles à l'heure en terrain horizontal et 8 milles ou même davantage en montant les côtes. C'est en cette même année qu'il construisit l'*Éra*, et, au mois d'août, lui adjoignit l'*Autopsie* pour desservir une ligne régulière à vapeur jusqu'à Paddington. Ces voitures fonctionnèrent jusqu'à la fin de novembre, transportant 4,000 passagers à une vitesse moyenne de 12 milles par heure. Il envoya alors l'*Éra* à Dublin, où un jour elle fit jusqu'à 18 milles à l'heure.

En 1835 fut construite une grande voiture appelée l'*Érin*, destinée à transporter 20 voyageurs. Elle remorquait 3 omnibus et une diligence, contenant ensemble 50 voyageurs, avec une vitesse de 10 milles à l'heure en terrain horizontal. Traînant un seul omnibus et 18 voyageurs, elle alla jusqu'à Brentford en passant par Whitehall, Charing-Cross et Regent-Street, à raison de 14 milles à l'heure. Elle se rendit aussi à Reading, parcourant, avec la même charge, les 38 milles du trajet en 3 heures 8 minutes, non compris les arrêts, qui durèrent ensemble une demi-heure. La même voiture fit les 75 milles, jusqu'à Marlborough, en 7 1/2 heures de marche effective, s'arrêtant 4 1/2 heures en route pour attendre son tender et ses approvisionnements.

En mai 1836, Hancock mit toutes ses voitures sur la route de Paddington et y fit un service régulier pendant plus de cinq mois. Il parcourut un total de 4 200 milles en faisant 525 voyages à Islington, 143 à Paddington et 44 à Stratford, traversant la ville plus de 200 fois. Les voitures roulaient en moyenne 5 heures et 17 ou 18 minutes par jour. Un léger phaéton à vapeur, que Hancock construisit

pour son usage personnel, faisait 20 milles à l'heure et circulait dans la ville parmi les chevaux et les voitures, sans gêner ni blesser personne. Sa vitesse ordinaire était d'environ 10 milles à l'heure. En tout, Hancock construisit 9 voitures à vapeur, capables de transporter 116 voyageurs en sus des conducteurs[1].

En décembre 1833, environ 20 voitures à vapeur et locomotives routières circulaient ou étaient en cours de construction, à Londres et aux environs. Aux États-Unis, le mauvais état des routes décourageait les inventeurs; et même dans la Grande-Bretagne l'adoption des locomotives routières qui, un moment, semblait presque un fait accompli, finit par se heurter à tant d'obstacles que Hancock lui-même, cet inventeur si ingénieux, si persévérant, si favorisé par le succès, abandonna la partie en désespoir de cause. Une législation hostile obtenue par des adversaires intéressés, et les progrès rapides de la locomotion à vapeur sur les chemins de fer, amenèrent ce résultat.

On ne fit presque plus rien dans cette voie pendant le quart de siècle suivant; et, quoique les études semblent n'avoir jamais été entièrement abandonnées, c'est seulement dans ces derniers temps qu'on a pu obtenir, avec les locomotives routières, quelques résultats ayant une valeur à peu près industrielle.

L'opposition des propriétaires de diligences et de tous les individus ayant un intérêt dans ces entreprises, fut des plus opiniâtres. Ils montrèrent dans la lutte un incroyable acharnement. Mais les partisans du nouveau système de transport n'étaient pas moins décidés et persévérants; et comme ils avaient le droit de leur côté, et en vue l'avantage matériel du public, ils eussent probablement fini par réussir, sans l'apparition de la méthode encore meilleure du transport sur les rails.

Dans l'été de 1831, au moment où la lutte entre les deux partis était la plus vive, une commission de la Chambre des

1. Pour une histoire détaillée des progrès de la locomotion à vapeur sur les grandes routes, voir *Steam on Common Roads*, etc., par Young, Holley et Fisher. Londres, 1861.

communes fit une enquête très complète sur la question. Cette commission arrivait dans son rapport à conclure que « la substitution aux animaux de moteurs inanimés, pour la traction sur les routes ordinaires, constitue l'un des plus importants perfectionnements qu'on ait jamais introduits dans les moyens de communication ». Les commissaires considéraient la possibilité de la réalisation pratique de ces idées comme « pleinement établie », et prédisaient « que la rapidité de la mise en service dépendrait de la façon dont le public encouragerait les savants à perfectionner le système proposé ». Le succès de celui-ci avait, disaient-ils, été retardé par les préjugés, les intérêts adverses, les péages prohibitoires ; et la commission remarque : « Quand nous considérons que ces essais ont eu lieu dans les circonstances les plus défavorables, à grands frais, avec une incertitude complète, sans aucun de ces guides que l'expérience fournit aux autres branches des arts mécaniques ; que ceux qui s'en occupent n'ont en vue que leurs propres intérêts, et ne sont pas des théoriciens cherchant la perfection de modèles ingénieux ; quand nous les trouvons convaincus, après une longue expérience, qu'ils sont sur la voie d'introduire un mode de transport susceptible d'attirer le public par la supériorité de ses avantages, au point de lui faire déserter les admirables services de diligences établis partout, il nous est certainement impossible de prétendre que l'introduction des voitures à vapeur n'est encore qu'un essai sans portée, indigne de l'attention du législateur. »

Farey, l'un des ingénieurs-mécaniciens les plus distingués du temps, affirma qu'il considérait la possibilité d'appliquer pratiquement ce système, comme suffisamment démontrée pour en assurer l'adoption générale. Gurney avait fait faire à sa voiture de 20 à 30 milles à l'heure ; Hancock pouvait soutenir une vitesse de 10 milles ; Ogle en avait fait jusqu'à 32 et 35, et avait remonté une pente au 1/6 avec une vitesse de 24 1/2 milles ; Summers en avait gravi une du 1/12, avec 19 voyageurs à la vitesse de 15 milles à l'heure ; il avait soutenu pendant 4 1/2 heures une vitesse de 30 milles. Farey pensait que les frais de transport par

les voitures à vapeur n'excéderaient pas le tiers de ceux des diligences alors en usage. Les nouveaux véhicules lui paraissaient offrir plus de sécurité et se diriger plus facilement que ceux traînés par des chevaux ; le type de générateur adopté — la chaudière « à compartiments », comme on l'appelle aujourd'hui — rendait les explosions complètement inoffensives ; les dangers et inconvénients provenant de la peur que les chevaux devaient, disait-on, ressentir à la vue de ces machines, avaient été reconnus de tout point imaginaires. Enfin l'usure même des routes fut trouvée moindre qu'avec les chevaux, les nouvelles voitures, avec leurs larges bandages, agissant plutôt comme les rouleaux employés pour l'entretien. En définitive, la commission concluait :

« 1° Que des voitures peuvent être mues par la vapeur sur des routes ordinaires à une vitesse moyenne de 10 milles par heure;

« 2° Qu'à cette vitesse elles ont transporté plus de 14 voyageurs;

« 3° Que leur poids, y compris la machine, le combustible, l'eau et le personnel, peut rester au-dessous de 3 tonnes;

« 4° Qu'elles peuvent monter et descendre facilement et sans danger des rampes d'une inclinaison considérable;

« 5° Qu'elles offrent toute sécurité aux voyageurs;

« 6° Qu'elles ne sont pas (ou peuvent ne pas être si elles sont convenablement construites) gênantes pour le public;

« 7° Qu'elles deviendront un moyen de transport plus rapide et plus économique que les voitures traînées par des chevaux;

« 8° Qu'ayant des roues plus larges que les autres voitures, et ne dégradant pas le sol comme le font les pieds des animaux dans la traction ordinaire, elles fatigueront moins les routes que les voitures traînées par des chevaux.

« 9° Qu'on a imposé aux voitures à vapeur des tarifs de péage qui en empêcheraient l'emploi sur plusieurs routes, si on laissait subsister ces taxes. »

Le chemin de fer qui, avec la machine à vapeur comme propulseur, allait devenir le rival heureux du mode de transport dont nous venons d'esquisser l'histoire, n'était pas

une idée nouvelle. Comme beaucoup d'autres grandes inventions et améliorations importantes, il avait été se développant peu à peu pendant des siècles. Les anciens avaient déjà l'habitude de disposer des dalles de pierre formant une voie, où leurs chariots lourdement chargés offraient moins de tirage que sur les routes ordinaires. Ce procédé se modifia graduellement et conduisit aux systèmes de pavage et d'empierrement des routes, aujourd'hui universellement adoptés. Les anciennes voies, portant les traces d'une circulation très active, peuvent se voir encore dans les rues de la ville exhumée de Pompéi.

Dans les premiers temps de l'industrie minière de la Grande-Bretagne, le charbon ou le minerai étaient amenés, de la mine au vaisseau qu'on devait charger, dans des sacs portés à dos de cheval. Ensuite les mineurs établirent des routes carrossables et se servirent de charrettes ou chariots traînés par des chevaux. Ils pavèrent alors les routes le long des ornières que suivaient les roues des véhicules. Puis plus tard (vers 1630), de lourds madriers ou des poutres furent substitués à la pierre; cet usage fut introduit dans le nord de l'Angleterre par un propriétaire du nom de Beaumont, qui avait quitté le sud pour venir s'établir dans le nord. Un demi-siècle après, le système était devenu d'un usage général. Vers la fin du XVIIIe siècle, la construction de ces « tram-ways » avait fini par être bien comprise; et l'on avait reconnu l'économie que procurait une route à pente uniforme; économie qui justifiait les dépenses considérables nécessitées par l'exécution des remblais et déblais. Arthur Young, qui écrivait à cette époque, dit que les routes où circulaient les voitures de charbon étaient « de grands ouvrages établis à travers toutes sortes d'inégalités de terrain, jusqu'à des distances de 9 ou 10 milles », et que sur ces tramways de bois « un seul cheval peut traîner facilement 50 ou 60 boisseaux de charbon ». Les roues des chariots ou wagons étaient en fonte, et munies d'une gorge qui s'adaptait sur la partie supérieure arrondie des rails de bois. Mais on s'aperçut bientôt que ces rails de bois s'usaient rapidement, et en 1738, à Whitehaven, on imagina de les

protéger au moyen de plaques de fonte fixées dessus. La connaissance et l'emploi de ce procédé se répandirent rapidement. Un tramway construit à Sheffield, en 1776, pour le duc de Norfolk, était composé de barres de fonte quadrangulaires disposées sur des longrines en bois; un autre, exécuté en 1789 par William Jessup en Leicestershire, avait un rail en forme de cornière, et les roues étaient munies de mentonnets comme celles d'aujourd'hui. La conicité de la jante, qui prévient l'usure des mentonnets et réduit la résistance à la traction, ne fut inventée que quarante ans plus tard par James Wright de Columbia (Pensylvanie). Le chemin de fer moderne n'est autre chose que le résultat des perfectionnements successifs apportés à l'ancienne route à ornières, et de l'usage de la machine à vapeur pour traîner les véhicules.

Ainsi donc, au commencement du XIX[e] siècle, les deux éléments essentiels du chemin de fer moderne étaient prêts : la machine à vapeur avait reçu une forme tout à fait pratique, et la voie à ornières était assez perfectionnée, pour qu'on pût entreprendre sans crainte de la construire d'une manière durable; les inventeurs s'étaient graduellement préparés à fondre en un système unique la traction à vapeur et la voie de fer. Des chemins de fer avaient été établis dans toutes les parties de la Grande-Bretagne, quelques-uns d'une longueur considérable; et les intérêts de tant de particuliers s'y trouvaient impliqués, que leur construction dut être soumise à l'autorisation d'actes législatifs. En 1805, le Merstham railway fut ouvert à la circulation, et on rapporte qu'un jour un seul cheval put y traîner à la descente, sur une pente au 1/120, un train de 12 wagons, portant 38 tonnes de pierre, à la vitesse de 6 milles par heure.

Richard Trevithick fut le premier ingénieur qui appliqua la machine à vapeur au remorquage des fardeaux sur les voies ferrées. Trevithick était né à Redruth en Cornouailles. Il était naturellement fort adroit et fut confié par son père à Murdoch, le collaborateur de Watt, qui dirigeait le montage des machines d'épuisement dans le Cornouailles. C'est sans doute à ce mécanicien ingénieux et accompli que le

jeune Trevithick dut à la fois l'habileté et les connaissances qui, jointes à son talent naturel, à son esprit industrieux et entreprenant, lui permirent d'accomplir l'œuvre qui l'a rendu célèbre. On lui confia bientôt le soin d'établir et de diriger de grandes machines d'épuisement, et plus tard il se mit à construire lui-même des machines à vapeur,



Fig. 54. — Richard Trevithick.

en société avec un autre ingénieur, Edward Bull, qui, ainsi que Hornblower et d'autres, prit une part active à la lutte engagée contre les brevets de Boulton & Watt. Le résultat de ces procès, qui affirmèrent la validité des brevets, ruina leur industrie. Trevithick se mit en quête d'ouvrage, et, peu après, s'associa avec un de ses parents, André Vivian, qui était aussi un mécanicien fort habile. Ils conçurent ensemble et firent breveter la machine à vapeur dont nous avons déjà parlé. Elle avait réussi d'une manière assez satisfaisante pour faire naître une pleine confiance dans un

succès parfait sur les *tram-roads,* alors si répandus. Et en février 1804 Trevithick avait achevé une machine « locomotive », destinée à fonctionner sur la route de Pen-y-darran, dans le pays de Galles. Cette machine (fig. 55) avait une chaudière cylindrique à carneaux, A, semblable à celle imaginée par Olivier Evans, et un seul cylindre B, im-



Fig. 55. — Locomotive de Trevithick. 1804.

planté verticalement dans la chambre à vapeur de la chaudière, qui manœuvrait les manivelles extérieures L de l'essieu d'arrière, au moyen de très longues bielles D, articulées à une traverse E. Les tiges-guides I étaient maintenues au moyen de contre-fiches qui s'appuyaient à l'autre extrémité de la chaudière. On n'essaya nullement de condenser la vapeur d'échappement, qui se rendait dans la cheminée. La pression adoptée était de 40 livres par pouce carré; mais Trevithick avait déjà fait nombre de machines sans condensation, dans lesquelles la pression s'élevait de 50 à 145 livres.

En 1808, Trevithick construisit un *railroad* à Londres sur l'emplacement connu plus tard sous le nom de square Torrington ou Euston, et il y mit en service une voiture à vapeur qu'il appela « M'attrape qui peut » (*Catch-me-who-can*). Elle était d'une construction très simple. Le cylindre à vapeur était disposé verticalement à l'arrière de la chaudière, et la tête de bielle se reliait à deux tiges, une de chaque côté, qui faisaient mouvoir les roues postérieures. La vapeur expulsée se rendait dans la cheminée, aidant ainsi au tirage. Cette locomotive, qui pesait environ 10 tonnes, faisait de 12 à 15 milles par heure, le long du chemin de fer circulaire que son constructeur avait établi, et Trevithick affirmait qu'elle eût pu en faire 20. Elle finit, après avoir fonctionné quelques semaines, par dérailler par suite de la rupture d'un rail; et comme Trevithick était à bout de ressources, l'accident ne fut jamais réparé.

Cette machine avait un cylindre de 14 pouces 1/2 de diamètre et 4 pieds de course. Trevithick n'avait eu recours à aucun procédé pour augmenter l'adhérence des roues sur les rails et, par suite, la puissance de traction. Il semble avoir compris que c'était complètement inutile. Pourtant cette méthode de faire fonctionner une locomotive, sans aucune des complications proposées par d'autres ingénieurs, fut brevetée plus tard, en 1813, au nom de Blackett et Hedley. Ce dernier avait été un moment l'agent de Trevithick et était devenu directeur de la houillère de Wylam, dont M. Blackett était propriétaire.

Trevithick appliqua sa machine à haute pression et sans condensation, non seulement à des locomotives, mais à tous les usages qui se présentaient. En 1801, il en établit une à l'usine de Tredegar, pour faire marcher le train de puddlage. Elle avait un cylindre de 28 pouces de diamètre et 6 pieds de course, une chaudière en fonte, de 6 3/4 pieds de diamètre et 20 pieds de long, avec un tube intérieur en fer forgé, de 3 pieds de diamètre du côté du fourneau, et de 24 pouces seulement à l'autre extrémité. La pression de la vapeur atteignait de 50 à 100 livres par pouce carré. Le distributeur était un robinet à 4 voies. La vapeur

d'échappement se rendait à la cheminée, en traversant un réservoir où elle échauffait l'eau d'alimentation. Cette machine ne fut mise au rebut qu'en 1856[1].

En 1803, Trevithick appliqua également sa machine au forage des roches et, trois ans après, il traita avec le *Trinity-Board* pour le draguage de la Tamise. Il construisit pour ce travail des dragueuses à vapeur, de la forme qui est encore la plus généralement en usage en Angleterre, quoiqu'on la rencontre rarement aux États-Unis, — la « dragueuse à chapelet ».

Un peu plus tard, Trevithick fit une première et infructueuse tentative pour construire un tunnel sous la Tamise, à Londres. Mais aussitôt qu'il eut abandonné cette coûteuse entreprise il revint à ses études favorites et continua ses travaux, un moment interrompus, relatifs à la propulsion des navires. Enfin, il quitta l'Angleterre, passa quelques années dans l'Amérique du Sud, puis revint dans son pays natal, où il mourut en avril 1833, à l'âge de soixante-deux ans, dans une extrême pauvreté et sans avoir réussi à faire adopter d'une façon générale aucune de ses inventions.

Trevithick représentait le type caractéristique de l'inventeur. Il inventa nombre de procédés utiles, mais en appliqua fort peu, même expérimentalement, et n'en retira guère d'avantages matériels. Il était ingénieux, mécanicien achevé, entreprenant, actif et infatigable ; mais, faute de persévérance, sa vie tout entière ne fut, comme l'a dit Smiles, « qu'une série de commencements ».

C'est à peu près vers cette époque que nous trouvons trace des recherches intelligentes d'un citoyen des États-Unis — d'un homme qui, trop modeste dans ses travaux, n'a jamais eu la réputation dont il est digne.

Le colonel John Stevens, de Hoboken, comme on l'appelle généralement, naquit à New-York en 1749 ; mais il passa toute sa vie industrielle à New-Jersey.

On raconte que son attention fut appelée pour la première fois sur les applications de la machine à vapeur par

1. Voir *Life of Trevithick*.

les expériences de John Fitch avec son bateau sur la Delaware : il se consacra immédiatement à la propagation de la navigation à vapeur avec l'énergie qui le caractérisait, et avec un succès dont il sera reparlé quand nous en viendrons à cette étude.

Mais, homme d'État autant qu'ingénieur, il avait une largeur de vues qui lui fit sentir toute l'importance de la machine à vapeur, aussi bien pour les transports par terre que pour la navigation ; il comprit également les immenses avantages d'un réseau de communications intérieures, bien tracé, méthodiquement exécuté et desservi par un système complet de chemins de fer. En 1812, il publia un mémoire intitulé : *Documents tendant à prouver la supériorité des chemins de fer et des voitures à vapeur sur la navigation par canaux*[1]. A cette époque, la seule locomotive qu'il y eût au monde



Fig. 56. — Le colonel John Stevens.

1. Imprimé par T. & J. Swords, 160, Pearl street, New-York, 1812.

était celle de Trevithick & Vivian, à Merthyr Tydvil ; les chemins de fer eux-mêmes n'existaient encore que sous la forme des vieux *tram-ways* en bois des houillères. Et pourtant le colonel Stevens écrivait dans son mémoire : « Je ne vois rien qui puisse empêcher une voiture à vapeur de se mouvoir sur ses rails avec une vitesse de 100 milles à l'heure[1] ; » et il ajoutait en note : « Cette vitesse étonnante est uniquement présentée ici comme possible. Il est probable que, dans la pratique, il conviendrait de ne pas dépasser 20 à 30 milles. C'est seulement par l'expérience qu'on peut résoudre cette question ; et je ne serais pas surpris de voir des voitures à vapeur marcher à la vitesse de 40 à 50 milles par heure. »

Antérieurement, il avait adressé aux autorités compétentes un travail, dans lequel il recommandait avec instance l'adoption de ses projets de voies ferrées. Il proposait des rails en bois, recouverts au besoin par des plaques de fer, ou même entièrement en fer. Les roues des voitures devaient être en fonte et munies de rebords intérieurs destinés à les maintenir sur les rails. La machine devait être actionnée par de la vapeur à la pression de 50 livres, et fonctionner sans condensation.

Répondant aux objections de Robert R. Livingston et des commissaires de l'État de New-York, il entre dans des détails plus circonstanciés. Il fixe de 500 à 1,000 livres le poids maximum à placer sur chaque roue ; il montre que les trains ou les « séries de voitures », comme il les appelle, circuleront avec autant de vitesse et de sécurité par la nuit la plus noire qu'en plein jour ; et il fait voir que les rampes des tracés qu'il propose n'offriraient qu'une faible résistance ; en un mot, il expose au public toute la question avec une telle exactitude de détails et une appréciation si évidente de sa véritable importance, qu'on ne peut lire ce remarquable document sans partager entièrement l'avis du président Charles King[2] : « Quiconque lira ce mémoire avec

1. 160 kilomètres.
2. *Progress of the city of New-York.*

attention sera convaincu que le colonel Stevens a embrassé cette grande question sous tous ses aspects, politiques, financiers, commerciaux ou militaires, et qu'en offrant à son pays les fruits de son génie il remplissait un devoir patriotique. » Cette offre, pourtant, ne fut pas acceptée. Le « Penseur » était en avance sur son temps; mais on est heureux de songer qu'il vécut assez pour voir ses projets mis à exécution, non point toutefois par le gouvernement; avant de mourir, en 1838, à l'âge avancé de quatre-vingt-neuf ans, il put se sentir assuré que le nom de Stevens, pour lui comme pour ses fils, était à jamais inscrit sur la liste des citoyens auxquels la patrie doit un souvenir reconnaissant.

Sans avoir apporté au mécanisme de la machine à vapeur aucun de ces perfectionnements capitaux qui firent la gloire de Watt, — sans avoir même eu l'honneur d'être le premier à proposer de la faire servir à la propulsion des vaisseaux ou aux transports par terre, — Stevens n'en fit pas moins preuve d'une connaissance bien plus complète des sciences et des arts mécaniques que pas un homme de son temps. Relativement à l'importance économique du progrès de la machine à vapeur dans sa construction et ses applications, tant sur terre que sur eau, il émit et soutint des opinions plus avancées et des vues plus politiques qu'aucun des grands ingénieurs de cette époque.

Comme le dit le docteur King : « Qui peut dire où nous en serions si, à cette époque, écoutant les sages conseils du président Madison sur les avantages inappréciables qui pouvaient résulter pour les États-Unis d'un système général de communications et de transports intérieurs, le Congrès eût accepté les propositions du colonel Stevens; et si, après vérification par expérience sur une petite échelle, de l'exactitude de ses plans, il eût organisé ce système, comment en évaluer les incalculables conséquences pour le bien-être, la richesse, la puissance et surtout l'union absolument indissoluble de notre grande république et de tous les éléments qui la composent? »

William Hedley, dont nous avons déjà parlé, semble

avoir été le premier qui détermina, par des expériences soigneusement conduites, dans quelle limite on pouvait compter sur l'adhérence aux rails des roues de la locomotive, pour obtenir une force de traction. Blackett, dont il était l'employé, avait demandé à Trevithick une locomotive pour traîner des trains de charbon aux houillères de Wylam ; mais Trevithick ne put ou ne voulut pas la construire et, en octobre 1812, Hedley fut autorisé à tenter de fabriquer lui-même cette machine. C'était à peu près vers cette époque que Blenkinsop (1811) essayait le rail denté ou crémaillère, que MM. Chapman expérimentaient le remorquage avec une chaîne (décembre 1812), et Brunton avec les jambes articulées (mai 1813).

Hedley, qui savait le succès obtenu par Trevithick dans ses expériences avec des roues lisses pour traîner des fardeaux d'un poids considérable, se dit avec raison qu'on pouvait réaliser dans le Nord ce qui avait réussi dans le Cornouailles, et construisit une voiture que devaient mouvoir des hommes agissant sur quatre manivelles qui faisaient tourner les roues.

Cette voiture fut chargée de lourdes masses de fer et attachée en tête d'un train de wagons de charbon sur le railway. En répétant les expériences, en faisant varier le poids de la voiture traînante et du fardeau traîné, Hedley détermina le rapport qu'il fallait observer entre eux pour obtenir l'adhérence. Il acquit ainsi la certitude que le poids de la locomotive, qu'il se proposait de construire, suffirait à donner la force de traction nécessaire pour faire mouvoir les trains de charbon auxquels on l'attelait.

Quand les roues glissaient par suite de la présence de graisse, de gelée ou d'humidité sur les rails, Hedley proposait de répandre des cendres sur la voie, comme on le fait maintenant avec du sable. Ceci se passait en octobre 1812.

Hedley se mit alors à construire une machine à roues lisses et la fit breveter le 13 mars 1813, un mois après l'avoir mise en service. La locomotive avait une chaudière en fonte et un cylindre unique de 6 pouces de diamètre, avec un petit volant. Le générateur de cette machine était trop

petit ; et, bientôt après, l'inventeur en construisit une plus grande, munie d'une chaudière en fer forgé à carneaux avec retour de flammes. La pression était portée jusqu'à 50 livres; la vapeur d'échappement était lancée de bas en haut dans une petite cheminée, ce qui produisait un tirage des plus énergiques. Hedley, pour l'augmenter encore, resserra l'ouverture de son tuyau d'échappement; il réussit tellement bien, qu'il se vit poursuivi par les réclamations des propriétaires des terrains qui bordaient la voie, lesquels étaient furieux de voir brûler leurs haies et leur gazon par les étincelles sortant de la cheminée de la locomotive. Tous les frais des expériences de Hedley furent payés par M. Blackett.

Plus tard, Hedley monta sa machine sur 8 roues, les locomotives à 4 roues s'étant trouvées souvent arrêtées par la rupture des légers rails alors en usage. Les machines de Hedley continuèrent de fonctionner aux houillères de Wylam pendant bien des années. La seconde qu'il avait faite ne fut mise de côté qu'en 1862, et on la conserve maintenant au musée de South-Kensington à Londres.

George Stephenson, à qui l'on attribue généralement l'honneur d'avoir inauguré le succès des locomotives, construisit sa première machine en 1814 à Killingworth, en Angleterre.

Il s'en fallait qu'il fût à cette époque le seul dans la carrière; car l'idée d'appliquer la machine à vapeur à faire mouvoir les voitures sur les routes ordinaires et les chemins de fer commençait, ainsi que nous l'avons vu, à devenir l'objet de l'attention générale. Stephenson réunissait à un degré élevé les avantages d'un grand talent naturel d'invention et d'une excellente éducation mécanique, et, sous ce rapport, ressemblait beaucoup à James Watt. Son portrait même ne manque pas d'une certaine analogie avec celui du grand inventeur.

George Stephenson naquit le 9 juin 1781 à Wylam, près de Newcastle-sur-Tyne ; il était fils d'un « mineur du Nord ». Dès l'enfance, il fit preuve d'un grand talent mécanique et d'un amour extraordinaire pour l'étude. Lorsqu'on le mit

au travail dans les mines, le soin qu'il apportait à son ouvrage et son intelligence lui valurent un avancement rapide ; il n'avait que dix-sept ans quand il fut choisi pour conduire, comme mécanicien, la machine d'épuisement dont son père était chauffeur.

Encore tout enfant, et gardant les troupeaux, il s'amu-



Fig. 57. — George Stephenson.

sait à faire des modèles de machines en argile, et, en grandissant, il ne perdit jamais une occasion d'apprendre la manière de les construire et de les diriger. Après avoir été employé à Newburn et à Callerton, où, pour la première fois, il devint « machiniste[1] », il se mit à étudier avec plus d'intérêt que jamais les différentes machines à vapeur alors en usage; et bientôt il fut parfaitement au courant du fonctionnement, tant de celle de Watt que de celle de Newcomen. Devenu garde-freins, il alla demeurer à Willington Quay, où il se maria; il entrait en ménage avec

1. *Engine-man*, l'homme chargé de la machine.

un salaire de 18 à 20 shillings par semaine. C'est là qu'il devint l'ami intime du célèbre William Fairbairn, alors apprenti dans le voisinage, à la grande houillère de Percy. Le « père des chemins de fer » et le futur président de l'Association britannique se remplaçaient parfois mutuellement dans leur travail, et discutaient souvent ensemble leurs nombreux projets. Ce fut à Willington Quay que naquit, le 16 octobre 1803, son fils Robert, qui devint plus tard un ingénieur distingué.

L'année suivante Stephenson se rendit à Killingworth, et devint garde-freins dans cette houillère; mais sa femme mourut bientôt; il accepta alors la place de conducteur de machine dans une filature près de Montrose, en Écosse. Au bout d'un an, il revint à pied à Killingworth avec ses économies (environ 28 liv. sterl.), en dépensa plus de la moitié pour payer les dettes de son père et donner un peu de bien-être à ses parents, puis reprit son ancienne place de garde-freins au puits de la mine.

Il apporta quelques améliorations utiles dans l'agencement des machines, consacrant ses heures de loisir à les étudier et à en projeter de nouvelles. Peu après il se fit connaître, en modifiant et réparant, à la Grande-Fosse, une vieille machine de Newcomen, qui ne fonctionnait pas d'une manière satisfaisante; en trois jours de travail, il la remit en excellent état. Deux jours après que Stephenson l'eut réparée, la machine vint à bout d'épuiser la fosse sur laquelle elle avait, pendant longtemps, travaillé sans résultat.

En 1812, Stephenson fut nommé chef mécanicien de la Grande-Fosse de Killingworth, aux appointements de 100 liv. sterl. par an; et il fut chargé d'inspecter les machines de toutes les houillères exploitées par la Compagnie dite des « Grands-Alliés ». Ce fut là et à cette époque qu'il se mit à travailler méthodiquement au perfectionnement de ses connaissances et à l'éducation de son fils, et aussi qu'on commença à le considérer comme un inventeur. Il était alors plein de vivacité et quelque peu enclin à la plaisanterie; souvent il faisait de très amusantes appli-

cations de son esprit inventif. Ainsi un jour un camarade lui apportant une montre à réparer, il la mit sur le poêle pour la « faire cuire » ; il avait vu du premier coup d'œil que le seul obstacle au jeu de la montre était l'huile congelée dans les rouages.

Smiles[1], son biographe, décrit le cottage qu'il habitait comme une véritable boutique de curiosités, remplie de modèles de machines, d'engins de toute sorte, et d'appareils nouveaux. Chez ses voisins, il reliait les berceaux des enfants aux tourne-broches des cheminées, débarrassant ainsi les mères de famille du soin de bercer constamment leurs nourrissons; il pêchait la nuit avec une lampe sous-marine, qui attirait le poisson de tous côtés et lui procurait des pêches merveilleuses; il trouvait même encore le temps de donner des conférences familières pour l'instruction des ouvriers, ses camarades.

Il construisit pour sa fosse un plan incliné automatique, sur lequel les wagons descendant chargés remontaient les trains vides; il apporta tant d'améliorations à ce puits de Killingworth, que le nombre des chevaux employés au fond de la mine put être réduit de 100 à 16.

Stephenson avait maintenant plus de temps libre que lorsqu'il était employé aux freins; ayant entendu parler des expériences de Blackett & Hedley à Wylam, il vint visiter leur houillère pour étudier leur machine. Il se rendit aussi à Leeds, pour voir celle de Blenkinsop traîner, dans ses essais, 70 tonnes à la vitesse de 3 milles par heure, et formula son opinion par cette remarque caractéristique : « Je crois que je pourrais mettre sur pied une machine meilleure que celle-ci ». Il ne tarda pas à l'essayer.

Il exposa la question en présence des propriétaires de la concession en vertu de laquelle la houillère était exploitée; le principal d'entre eux, lord Ravensworth, convaincu des avantages que devait procurer l'emploi d'une « machine voyageante », avança les fonds nécessaires. Stephenson

1. *Lives of George and Robert Stephenson*, par Samuel Smiles. New-York et Londres, 1868.

commença sans délai sa première locomotive, qu'il construisit dans les ateliers de West Moor, aidé principalement par John Thirlwall, le forgeron de la houillère. Il y consacra deux années et la termina en juillet 1814.

Cette machine avait une chaudière en fer forgé de 8 pieds de long et 2 pieds 10 pouces de diamètre, avec un seul carneau de 20 pouces. Les cylindres étaient verticaux, de 8 pouces de diamètre et 2 pieds de course, implantés dans la chaudière même, et faisaient mouvoir une série de roues, qui engrenaient l'une avec l'autre et avec d'autres roues dentées calées sur les deux essieux moteurs. Un réchauffeur d'eau d'alimentation entourait le pied de la cheminée. La machine traînait 30 tonnes, en remontant une rampe de 10 à 12 pieds par mille, avec une vitesse de 4 milles à l'heure. Mais elle avait de nombreux défauts, et le travail qu'elle fournissait revenait à peu près au même prix que celui des chevaux.

Stephenson se décida alors à en construire une autre sur un plan un peu différent, et fit breveter son système en février 1815. Cette nouvelle machine donna des résultats beaucoup plus satisfaisants que le *Blücher*, — c'était le nom de la première.

La seconde locomotive de Stephenson (fig. 58) était encore munie de 2 cylindres verticaux *Cc*, mais les bielles étaient attachées directement aux 4 roues motrices W W'. Afin de permettre la liberté des mouvements, on avait adopté l'articulation « à genou » pour relier les bielles aux traverses R*r* et aux manivelles R'Y'. Les deux essieux moteurs étaient réunis par une chaîne sans fin T *t'*. L'essieu coudé et l'accouplement extérieur, d'après les spécifications du brevet, ne furent mis en usage que plus tard, parce que l'on ne put parvenir à fabriquer les arbres à villebrequin. Le tirage forcé, produit par la vapeur d'échappement, fut appliqué à cette machine, ce qui permit d'en doubler la puissance, d'employer le coke comme combustible et d'adopter la chaudière multitubulaire. De petits cylindres à vapeur *s*, *s*, *s* supportaient la machine et faisaient office de ressorts.

Ce fut à peu près vers cette époque que George Stephenson et sir Humphry Davy inventèrent, chacun de leur côté et presque simultanément, la « lampe de sûreté » sans laquelle peu de mines de charbon bitumineux pourraient être exploitées. Le premier se servait de petits tubes, l'autre de fines toiles métalliques pour intercepter la flamme. Ste-

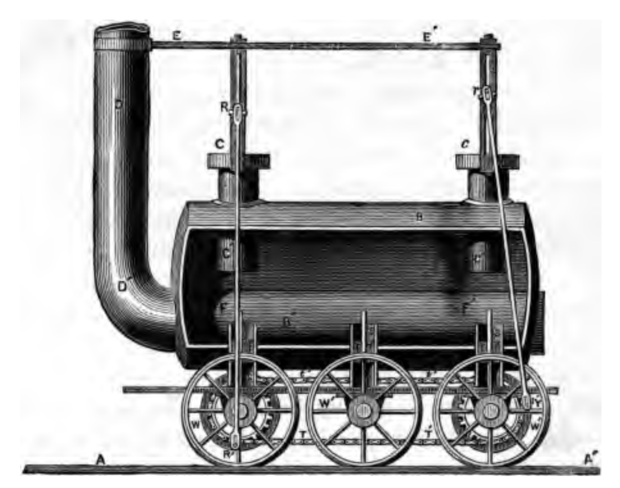


Fig. 58. — Locomotive de Stephenson de 1815. — Coupe.

phenson prouva l'efficacité de sa lampe, en pénétrant directement avec elle dans l'atmosphère inflammable d'une mine dangereuse, et laissant à plusieurs reprises éteindre sa lumière, quand la lampe se trouvait surchargée du mélange explosif, si souvent fatal aux mineurs. Ceci se passait en octobre et novembre 1815, de sorte que le travail de Stephenson est antérieur comme date à celui du grand physicien[1]. La discussion qui s'éleva entre les partisans des prétentions rivales des deux inventeurs fut très vive et quelquefois assez aigre. Les amis du jeune ingénieur ouvrirent une souscription qui s'éleva à plus de 1,000 liv. sterl., et lui offrirent ce cadeau comme témoignage de la haute

1. Voir *A Description of the safety-lamp invented by George Stephenson*, etc. Londres, 1817.

valeur qu'ils attribuaient à cet appareil aussi simple que précieux. On dit que, des deux lampes, celle de Stephenson est la plus sûre; que la lampe de Davy peut amener des explosions en mettant le feu au mélange détonant, lorsque, la combustion se produisant à l'intérieur du cylindre en toile métallique, celui-ci se trouve porté à la chaleur rouge. En pareil cas, la lampe de Stephenson s'éteint simplement, comme on le vit à Barnsley en 1857, à la houillère des Chênes, où les deux sortes de lampe étaient en usage, ainsi que dans d'autres cas.

Stephenson continua ses études et ses expériences, dans le but de perfectionner sa locomotive et les voies ferrées. Il imagina de meilleurs procédés pour poser et raccorder les rails; il proposait de substituer au simple assemblage usuel bout à bout un assemblage spécial par demi-recouvrement. Il fit breveter, en même temps que ces modifications de la voie, divers perfectionnements apportés à sa machine. Il avait remplacé par des roues en fer forgé les grossières roues de fonte précédemment en usage[1], et avait introduit beaucoup de modifications de détail. Les machines construites à cette époque (1816) continuèrent de fonctionner pendant bien des années. Deux ans plus tard, avec un dynamomètre imaginé tout exprès, Stephenson détermina expérimentalement la résistance des trains, et prouva qu'elle était la résultante de plusieurs forces, le frottement de glissement des fusées d'essieu dans leurs coussinets, le frottement de roulement des roues sur les rails, l'effet de la pesanteur sur les pentes et la résistance de l'air.

Ces expériences lui semblaient démontrer d'une façon concluante l'impossibilité, pour les machines routières, de lutter contre les locomotives remorquant des trains sur les rails. Il trouva qu'à toutes les vitesses où il fit ses expériences la résistance était sensiblement constante et équivalente à 10 livres par tonne; il estimait qu'il suffirait d'une

1. La roue américaine en fonte coulée en coquille, meilleure que celle décrite ci-dessus, n'a jamais été adoptée généralement et avec succès en Europe

pente de 1/100 pour diminuer de 50 p. 100 la puissance de traction de la machine; il comprit donc immédiatement la nécessité d'établir toutes les voies ferrées aussi horizontales que possible, et par conséquent le caractère nettement distinct de cette branche des travaux du génie civil. Il condamna avec persistance la « folie » d'essayer de généraliser l'usage de la vapeur sur les routes ordinaires, où de grandes variations d'inclinaison et une chaussée pouvant céder sous la pression des roues devaient certainement empêcher de réussir. Il soutint avec énergie qu'il fallait faire autant que possible la voie de niveau, même au prix de grands sacrifices.

Prenant parti dans la discussion, devenue alors très sérieuse, entre les partisans de la traction à vapeur sur les routes ordinaires et ceux qui insistaient pour l'adoption des locomotives et de leurs trains sur des voies ferrées, il calcula qu'une machine routière, capable de transporter 20 ou 30 passagers à la vitesse de 10 milles par heure, pourrait, sur des rails, en transporter dix fois davantage, avec une vitesse trois ou quatre fois plus grande. Finalement la locomotive pour chemins de fer l'emporta d'une manière à peu près complète sur la machine routière qui l'avait précédée.

En 1817, Stephenson construisit, pour le duc de Portland, une machine destinée à mener du charbon de Kilmarnock à Troon. Elle coûta 750 liv. sterl. et, sauf quelques interruptions, fonctionna sur cette ligne jusqu'en 1848, époque où elle fut démolie. Le 18 novembre 1822 eut lieu l'ouverture du chemin de fer de Hetton, près Sunderland. George Stephenson était l'ingénieur de cette courte ligne de 8 milles, établie entre la houillère d'Hetton et les docks installés sur le bord de la Wear. Il y disposa cinq de ses « plans inclinés automoteurs »; deux des rampes furent commandées par des machines fixes, la déclivité étant trop forte pour des locomotives. Cinq de ces dernières, construites sur les projets de Stephenson, desservaient cette ligne, et reçurent, des gens du pays, peut-être pour la première fois, le nom de « chevaux de fer ». Ces machines étaient tout à fait semblables à celles de Killingworth. Elles

remorquaient un train de 17 wagons de charbon, pesant en tout 64 tonnes, avec une vitesse d'environ 4 milles à l'heure. En 1823, Stephenson avait été choisi pour ingénieur du chemin de fer de Stockton à Darlington, projeté dans le but de mettre les riches charbonnages de Durham en communication avec la mer. Cette voie fut construite sans qu'aucun de ses promoteurs, sauf Stephenson, s'attendît à y voir la vapeur employée à la traction à l'exclusion des chevaux.

Toutefois M. Edward Pearse, l'un des plus forts actionnaires de la ligne, et l'un de ceux qui la soutenaient le plus chaudement, après avoir examiné les machines de Killingworth et étudié leur fonctionnement, fut si bien convaincu de l'avantage immense que devait procurer leur emploi, que non seulement il appuya les arguments de Stephenson, mais qu'avec Thomas Richardson il lui avança 1,000 liv. sterl. pour l'aider à fonder à Newcastle un atelier de construction de locomotives. Cette usine qui, plus tard, devint un grand et célèbre établissement, fut créée en 1824.

Pour le chemin de fer de Stockton, Stephenson conseilla l'emploi des rails en fer forgé, qui coûtaient alors 12 liv. sterl. la tonne[1], — le double du prix des rails de fonte. Toutefois les directeurs stipulèrent qu'il n'achèterait aux négociants en fer « malléable » que la moitié des rails nécessaires. Ces rails pesaient 20 livres le yard[2]. Après avoir longtemps hésité devant une opposition sérieuse, les directeurs finirent par commander trois locomotives à Stephenson. La première, ou machine « n° 1 » (fig. 59), fut livrée à temps pour l'ouverture de la ligne, le 27 septembre 1825. Elle pesait 8 tonnes. Sa chaudière contenait un unique carneau droit, dont une extrémité formait le foyer. Les cylindres étaient verticaux, comme ceux des premières machines, et reliés directement aux roues motrices. Les manivelles des roues étaient à angle droit l'une sur l'autre, de façon qu'au moment où l'une des machines était « au

1. 300 francs les 1,000 kilog.
2. Un peu plus de 10 kilog. le mètre courant.

tôt après des trains spéciaux pour les voyageurs, traînés par des machines plus rapides, circulèrent sur la ligne, où se trouva ainsi franchement inauguré le système de chemins de fer actuel.

Une voie ferrée entre Liverpool et Manchester avait été projetée presque en même temps qu'on commençait le chemin de Stockton à Darlington. Les études préliminaires s'étaient faites malgré une violente opposition, qui ne s'en tenait pas toujours aux moyens légaux, mais qui parfois avait recours à la violence. Les topographes furent à plusieurs reprises chassés de leur travail par une populace armée de bâtons et de pierres, qu'excitaient les propriétaires et ceux qui avaient un intérêt dans les entreprises de diligences établies sur la route de terre. Avant même l'ouverture du chemin de fer de Stockton à Darlington, le bill autorisant celui de Liverpool à Manchester avait été voté par le Parlement, malgré les efforts désespérés des entrepreneurs de transports et des détenteurs de terres. Stephenson insista pour qu'on adoptât les locomotives à l'exclusion des chevaux. Il affirmait qu'il pouvait construire une machine faisant plus de 20 milles à l'heure ; et un rédacteur de la *Quarterly Review*, favorable pourtant à la construction de la ligne et à l'emploi des locomotives, fit cette fameuse réponse : « Quoi de plus évidemment absurde et ridicule que la perspective qu'on nous présente de locomotives circulant *deux fois plus vite* que des diligences? Autant vaudrait croire que les gens de Woolwich consentiraient à se laisser lancer en l'air sur une fusée à la Congrève, que de les supposer capables de se mettre à la merci d'une telle machine, marchant avec une pareille vitesse. »

A propos de cette discussion, devant une commission de la Chambre des communes, on posa à Stephenson cette question : « Supposez maintenant qu'une de vos machines marchant à la vitesse de 9 à 10 milles à l'heure, une vache vienne à se coucher sur la ligne et à se trouver ainsi sur le passage du train, ne serait-ce pas là une chose très gênante? » Stephenson répliqua : « Oui, très gênante en effet... *pour la vache !* » Et quand on lui demandait si les

hommes et les animaux ne seraient pas effrayés par le tube rouge de feu de la cheminée, il répondit : « Mais comment devineraient-ils qu'il n'est pas *peint?* » La ligne fut enfin construite sous la direction de Rennie comme ingénieur conseil et de Stephenson comme ingénieur principal de la construction.

Les travaux qu'il exécuta sur cette ligne contribuèrent au plus haut degré au succès de l'entreprise et à la célébrité de ces jeunes ingénieurs. La voie devait traverser le « Chat Moss », tourbière marécageuse, dont les sondages n'avaient jamais pu atteindre le fond et qui couvrait une surface de plus de 12 milles carrés. Pareille œuvre avait été maintes fois déclarée impossible, et l'ingénieur qui parvint à l'accomplir montra bien qu'il n'était pas le premier venu. Stephenson eut recours à un expédient fort simple, mais très hardi ; il employa, pour soutenir la voie, un mélange compact de tourbe et de gazon, et, formant ainsi sa chaussée de matériaux moins lourds que les eaux bourbeuses du marais, il obtint une sorte de remblai *flottant* sur lequel il posa ses rails. A la surprise de tous, sauf de Stephenson, le procédé réussit parfaitement; il fut même remarquablement économique, puisque les frais d'établissement de la voie dépassèrent à peine le dixième des estimations faites par un autre ingénieur. Entre autres ouvrages considérables qu'on rencontrait sur ce prototype des chemins de fer, il faut citer : le grand tunnel d'un mille et demi entre Edgehill et la station de Liverpool ; la tranchée d'Olive Mount, longue de 2 milles et dont la profondeur en certains endroits atteignait 100 pieds, tranchée creusée dans le grès rouge et mesurant près de 500,000 yards cubes de déblais ; le viaduc de Sankey, construction en briques, de neuf arches, dont chacune avait une portée de 50 pieds, et qui coûta 45,000 livres sterling ; enfin beaucoup d'autres travaux d'art qui aujourd'hui encore sont dignes d'attention.

Stephenson organisa tous les détails de la ligne ; il fit lui-même les dessins des ponts, des machines, des plaques tournantes, des aiguilles, des changements de voie, et prit la responsabilité de tout le travail d'exécution.

Enfin la construction de la voie touchait à son terme, et l'on ne pouvait plus différer de résoudre la question, si longtemps ajournée, du mode de traction. Quelques-uns des directeurs et de leurs conseils tenaient encore pour les chevaux ; beaucoup préféraient la traction par machines fixes; les autres étaient presque tous indécis. Nul n'osait prendre ouvertement parti pour la locomotive, et bien peu avaient en elle une confiance quelconque. George Stephenson était presque seul, et les adversaires de la vapeur avaient fait introduire, dans l'acte de concession du railway de Newcastle à Carlisle, une disposition stipulant expressément l'emploi exclusif des chevaux. Pourtant les directeurs permirent à Stephenson, en 1828, de mettre une locomotive sur la ligne, pour l'employer, pendant la construction même, au remorquage des trains de ballast. Une commission fut aussi envoyée, à la requête de Stephenson, pour examiner les machines de la ligne Darlington-Stockton ; mais il ne semble pas qu'elle ait formulé aucune opinion bien précise. Deux ingénieurs très connus firent un rapport en faveur des machines fixes; ils conseillèrent la division de la ligne en 19 sections, d'environ un mille et demi chacune, et l'emploi de 21 machines fixes; tout en reconnaissant les frais énormes de premier établissement que ce système eût entraînés, le comité directeur inclinait fortement pour l'adoption de ce plan. Toutefois Stephenson s'y opposa avec tant de fermeté et de persistance, qu'après un long débat on finit par se décider « à essayer de la machine mobile ». Le comité résolut d'offrir une récompense de 500 livres sterling pour la meilleure locomotive, en imposant les conditions suivantes :

1° La machine devra brûler sa fumée;

2° Elle devra, si elle pèse 6 tonnes, pouvoir traîner en tout temps un poids de 20 tonnes (y compris le tender et la caisse à eau), avec une vitesse de 10 milles à l'heure, et sans que la pression dans la chaudière dépasse 50 livres par pouce carré;

3° La chaudière doit avoir deux soupapes de sûreté, dont aucune ne doit pouvoir être calée, et dont l'une doit être complètement hors de la portée du mécanicien ;

4° La machine et la chaudière doivent être établies sur des ressorts et reposer sur six roues; la hauteur totale jusqu'au haut de la cheminée ne devra pas dépasser 15 pieds;

5° Le poids de la machine, eau comprise, ne doit pas excéder 6 tonnes; mais on préférerait une machine plus légère, pourvu qu'elle puisse traîner une charge proportionnée; si le poids ne dépasse pas 4 tonnes et demie, elle peut n'avoir que quatre roues. La compagnie aura le droit d'éprouver la chaudière, etc., à une pression de 150 livres par pouce carré;

6° La machine doit être munie d'un manomètre à mercure, indiquant la pression au-dessus de 45 livres par pouce carré;

7° La machine doit être livrée, entièrement finie et prête à essayer, à la station de Liverpool, le 1er octobre 1829;

8° Le prix de la machine ne doit pas dépasser 550 livres.

Ce programme fut imprimé sous forme de circulaire et publié par tout le royaume ; un nombre considérable de machines furent construites pour le concours, qui devait avoir lieu le 1er octobre 1829, mais qui fut retardé jusqu'au 6 du même mois. Toutefois 4 machines seulement se présentèrent aux épreuves au jour fixé; c'étaient :

La *Nouveauté* (*Novelty*), construite par MM. Braithwaite et Ericsson (ce dernier était le célèbre ingénieur qui, plus tard, vint aux États-Unis pour y introduire l'hélice propulsive, et dans la suite le système de bâtiments cuirassés dits monitors); la *Fusée* (*Rocket*), construite sur les plans de Stephenson; la *Sans Pareille* et la *Persévérance,* dues, la première à Hackworth, la seconde à Burstall.

La *Sans Pareille,* dont l'auteur, Timothée Hackworth, était un des anciens contre-maîtres de Stephenson, ressemblait à la machine construite par ce dernier pour le chemin de fer de Stockton à Darlington; mais son poids dépassait les limites assignées ; elle n'était pas prête à fonctionner quand on l'appela, et lorsqu'enfin elle se mit à l'œuvre, il se trouva qu'elle faisait une consommation extraordinaire de combustible, due en partie à l'intensité exagérée de son tirage, qui entraînait hors du foyer des charbons incomplètement brûlés.

La *Persévérance* ne put atteindre la vitesse spécifiée et fut retirée du concours.

La *Nouveauté* semblait une machine bien organisée et remarquablement bien proportionnée pour l'époque. Dans la fig. 60, A est la chaudière; D, cylindres à vapeur, E, réchauffeur de l'eau d'alimentation. Le poids de cette machine ne dépassait guère 3 tonnes, et c'était une « machine à réservoir » qui portait en B son eau et son combustible. Le tirage forcé était obtenu par le moyen d'une soufflerie C. La *Nouveauté* parcourut la ligne à une vitesse qui fut,

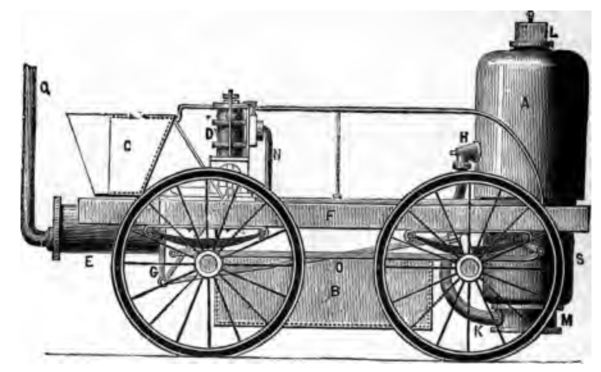


Fig. 60. — La *Nouveauté*. 1829.

par moments, d'environ 28 milles à l'heure; mais la soufflerie se détraqua et la *Fusée* seule continua sa course. Dans un deuxième essai, celle-ci resta définitivement maîtresse du terrain.

La *Fusée* (fig. 61) avait été construite à l'usine de Robert Stephenson & C°, à Newcastle-sur-Tyne. La chaudière avait une surface de chauffe considérable, grâce à 25 tubes de cuivre de 3 pouces, qu'on y adapta sur le conseil de Henri Booth, secrétaire de la Compagnie du chemin de fer. Le tirage était réglé par un étranglement de l'orifice du tuyau d'échappement; on réduisait cet orifice jusqu'à ce que le tirage eût l'intensité voulue. Les effets produits étaient soigneusement observés au moyen d'un siphon rempli d'eau communiquant avec la cheminée. On s'arrêta finalement à une intensité de tirage correspondant à une co-

lonne d'eau de 3 pouces. La longueur totale de la chaudière était de 6 pieds; son diamètre, de 40 pouces. La boîte à feu, de 3 pieds de haut sur 2 de large, était fixée à l'arrière de la chaudière par l'intermédiaire de supports tubulaires remplis d'eau, destinés à en protéger les parois contre l'action d'une chaleur trop vive. Les cylindres, comme on le voit dans le dessin, étaient inclinés et n'agissaient que



Fig. 61. — La *Fusée*. 1829.

sur une seule paire de roues motrices. Un tender attaché à la machine portait l'eau et le combustible. La locomotive pesait moins de 4 tonnes et demie.

Il paraît que l'aspect extérieur de cette petite machine n'avait pas fait très bonne impression; la *Nouveauté*, dit-on, était généralement favorite et Stephenson n'avait guère de parieurs. Dans son premier essai, la *Fusée* fit 12 milles en moins d'une heure.

Après l'accident qui mit hors de combat la *Nouveauté*, la *Fusée* se présenta de nouveau et courut à la vitesse de 25 à 30 milles par heure, traînant une seule voiture qui contenait 30 voyageurs. Deux jours plus tard, le 8 octobre, il fallut un peu moins d'une heure pour mettre la machine

sous pression, l'eau étant au début complètement froide; et alors, avec un train chargé de 13 tonnes, elle parcourut 35 milles en 1 heure 48 minutes, arrêts compris, et atteignit une vitesse de 29 milles à l'heure. La vitesse moyenne de toutes ces courses d'essai fut de 15 milles à l'heure.

En présence de ces résultats, qui dépassaient de beaucoup les espérances des plus chauds partisans du système, et ce que ses adversaires prétendaient être les limites du possible, la question était complètement résolue; et le chemin de fer de Manchester à Liverpool fut immédiatement pourvu de machines locomotives.

La *Fusée* resta sur cette ligne jusqu'en 1847, époque où elle fut vendue à une société, qui l'employa sur le chemin de fer de Midgeholme, près Carlisle. Elle y parcourut un jour 4 milles en 4 minutes et demie. On la conserve maintenant au musée des Brevets de South-Kensington à Londres.

En janvier 1830, on était parvenu à établir une ligne à voie unique à travers le « Chat Moss »; et six mois plus tard, le 14 juin, le premier train, remorqué par la *Flèche* (*Arrow*), alla de Liverpool à Manchester. Il accomplit le trajet en une heure et demie, et atteignit une vitesse maximum de 27 milles par heure. La ligne fut officiellement ouverte à la circulation le 15 septembre 1830.

Ce fut une date des plus mémorables dans l'histoire des chemins de fer; et l'achèvement heureux de ce grand ouvrage fut célébré, comme un tel événement devait l'être, par d'imposantes cérémonies. Parmi les personnages de distinction, on y vit figurer sir Robert Peel et le duc de Wellington. M. Huskisson, député de Liverpool au Parlement, y assistait également. Outre la *Fusée*, la maison Robert Stephenson & C° avait construit pour la ligne sept autres locomotives de nombreuses voitures. Tous ces véhicules furent formés en une longue colonne, et 600 voyageurs prirent place dans le train, qui partit de Manchester et atteignit par moments, dans les meilleures parties de la voie, une vitesse de 20 à 25 milles à l'heure. Une foule immense, rangée sur son passage, accueillait par des accla-

mations ce spectacle étrange et pour elle incompréhensible : les merveilleux événements qui s'accomplirent ce jour-là sur le nouveau chemin de fer se racontèrent de proche en proche et furent bientôt connus dans tous les coins du pays. Un triste accident, toutefois, précurseur des milliers d'autres que devait causer le nouveau mode de transport, vint modérer un peu l'enthousiasme naissant de la population, et refroidir l'ardeur des plus ardents partisans du chemin de fer. Ce premier voyage fit ainsi connaître à tous, en même temps que la puissance du nouveau moteur, les dangers inséparables de son emploi. Le train s'était arrêté à Parkside, pour faire de l'eau ; on en profita pour envoyer sur une voie d'évitement la *Northumbrienne*, locomotive conduite par George Stephenson lui-même, avec la voiture où se trouvait le duc de Wellington, de manière à faire défiler devant le noble lord et sa suite, les autres machines et le reste du train, qui devaient continuer leur route sur la voie principale. Pendant l'exécution de cette manœuvre, M. Huskisson était resté sans y prendre garde sur la ligne. Au moment où il vit approcher la *Fusée* qui tenait la tête de la colonne, il voulut entrer dans la voiture du duc, mais il était trop tard. La *Fusée* l'atteignit, le renversa sur la voie et lui broya la jambe ; il mourut le soir même. Immédiatement après l'accident, il fut placé sur la *Northumbrienne*, et Stephenson parcourut en 25 minutes les 15 milles qui le séparaient de son domicile. C'était une vitesse de 36 milles à l'heure. La nouvelle de ce malheur et de la vitesse réalisée par la machine, se répandit bientôt par tout le royaume et de là dans toute l'Europe ; si bien que la mort de cette première victime des chemins de fer fut l'une des causes de leur adoption immédiate et de leur extension rapide.

Cette première ligne, qu'on avait construite en comptant sur 400 voyageurs par jour, en eut presque aussitôt une moyenne de 1,200 ; au bout de cinq ans, la circulation annuelle atteignait 500,000 personnes[1]. Ce succès complet

1. Smiles.

était un sûr garant de la vulgarisation des chemins de fer, et depuis lors leur substitution définitive à tout autre mode de transport et de communication ne fut plus jamais mise en question.

Pendant les quelques années qui suivirent cette première et grande victoire, George Stephenson consacra tout son temps à la construction des voies ferrées et au perfectionnement de sa machine. Il avait pour aide son fils Robert, auquel il céda peu à peu ses affaires pour se retirer à Tapton House, sur le Midland Railway, et y mener une vie active mais agréable pendant le reste de son existence.

Il paraît que, dès 1840, il avait projeté de nombreuses améliorations, qui ne furent généralement adoptées que bien des années plus tard. Il proposa des systèmes de freins automatiques et continus, et considérait de bons freins comme chose d'une telle importance, qu'il demandait que l'adoption en fût rendue légalement obligatoire. Il conseillait l'emploi des vitesses modérées, tant au point de vue de la sécurité que par économie.

Peu d'années après l'ouverture du chemin de fer de Manchester à Liverpool, un grand nombre d'inventions furent mises en avant par des gens ignorants ou malhonnêtes, dont le but était de remplir leurs poches, plutôt que de procurer des bénéfices à leurs actionnaires ou des avantages au public. Souvent on fit appel aux Stephenson, pour combattre ces systèmes grossiers et mal étudiés. Parmi ces combinaisons nouvelles il faut remarquer la méthode de propulsion atmosphérique; comme on l'a vu plus haut, elle avait été proposée pour la première fois par Papin en 1687, en même temps que sa machine pneumatique à double effet. Elle avait été de nouveau indiquée dans les premières années du siècle actuel par Medhurst, qui présenta un procédé de transmission par le vide pour les petits paquets et les lettres, procédé qui est entré aujourd'hui dans la pratique ; quinze ans après, il voulut établir sur ce même principe un chemin de fer pour remplacer celui de Stephenson et de ses associés.

La plus heureuse des tentatives faites pour appliquer

cette méthode, fut celle de Clegg et Samuda à West London et sur la ligne de Londres à Croydon, puis en Irlande entre Kingstown et Dalkey. Un long tuyau BB de 2 pieds de diamètre (fig. 62) était couché entre les rails AA de la voie. Ce tuyau était muni d'un piston parfaitement ajusté, auquel était fixée une tige solide qui traversait une fente courant tout le long de la génératrice supérieure du tuyau,



Fig. 62. — Le chemin de fer atmosphérique.

et recouverte par une bande de cuir flexible EE. Cette tige était attachée à la voiture CC, qu'il s'agissait de mouvoir. On faisait le vide d'un côté du piston au moyen d'une pompe puissante, et la pression atmosphérique, s'exerçant sur l'autre face, le poussait en avant ainsi que le train qui y était attelé. Après avoir examiné les plans des inventeurs, Stephenson se convainquit que ce projet ne réussirait pas et le déclara hautement. Néanmoins ceux qui le soutenaient eurent assez d'influence sur les capitalistes pour faire exécuter de nombreux essais; et quoique chaque expérience aboutît à un échec il se passa encore longtemps avant qu'on cessât d'entendre parler de ce système.

Stephenson passa une grande partie des dernières

années de sa vie à voyager en Europe, tant pour son plaisir que pour ses affaires. Pendant une visite qu'il fit en Belgique en 1845, il fut reçu en tous lieux, et par toutes les classes de la société, depuis le roi jusqu'aux plus humbles de ses sujets, avec des honneurs tels qu'on en accorde rarement, même aux plus grands hommes. Peu après il se rendit en Espagne avec sir Joshua Walmsley, pour étudier un projet de chemin de fer entre la capitale et le golfe de Biscaye. Pendant le voyage il tomba malade, et sa santé ne se rétablit jamais complètement. Depuis lors il se consacra principalement à l'administration de sa fortune, qui était devenue très considérable, et passa beaucoup de temps dans les usines et les houillères, où il avait engagé ses capitaux. Son fils l'avait alors entièrement remplacé dans toutes les affaires relatives aux chemins de fer, et il avait des loisirs à consacrer à l'étude et aux plaisirs de la société. Parmi ses amis il comptait sir Robert Peel, une vieille connaissance, sir William Fairbairn, le docteur Buckland, et beaucoup d'autres hommes illustres de ce temps.

En août 1848, Stephenson fut attaqué de fièvre intermittente, suivie d'une hémorragie pulmonaire, et mourut le 12 du même mois, à l'âge de soixante-six ans, entouré du respect de tous et assuré d'une gloire immortelle. Aussitôt après sa mort, des statues lui furent élevées à Liverpool, à Londres et à Newcastle. Celle de Londres fut payée par des souscriptions particulières, parmi lesquelles on comptait une somme de 1,500 dollars fournie par 3,150 ouvriers, — l'un des plus beaux tributs qui aient jamais été offerts à la mémoire d'un grand homme.

Mais le plus noble monument qui puisse rappeler son souvenir est celui qu'il érigea lui-même en fondant un établissement spécial d'éducation et de secours pour ses ouvriers à Clay-Cross. Toute personne employée à l'usine devait verser 5 à 12 pence par quinzaine à une caisse que les patrons, de leur côté, alimentaient largement. Cette caisse devait servir à payer l'instruction des enfants des ouvriers, à organiser des écoles du soir pour ceux occupés dans les ateliers, à entretenir une salle de lecture et une

bibliothèque, à assurer enfin la gratuité des soins médicaux et un fonds de secours. Des sociétés musicales, et d'autres pour le jeu de cricket, ainsi que des prix pour les jardins les mieux entretenus, furent également fondés. L'école, la mairie et l'église de Clay-Cross constituent, avec ce noble système d'assistance, un monument d'un plus noble caractère qu'une statue de marbre ou de bronze.

George Stephenson est une figure admirable à tous les points de vue. Il était simple, sérieux, honnête, énergique, tenace en même temps qu'habile; son esprit était charmant, son cœur compatissant et tendre. Sa mémoire sera toujours respectée ; pendant longtemps encore, en lisant l'histoire de cette existence si simple et d'un si grand intérêt, telle que l'a écrite son biographe Smiles, des centaines de jeunes hommes se sentiront encouragés et soutenus par son noble exemple dans la rude carrière qui conduit à une renommée glorieuse.

Depuis plusieurs années, Robert Stephenson dirigeait la construction des locomotives et s'occupait des questions de chemins de fer. A la mort de son père, il continua les mêmes affaires. C'était à Newcastle que se fabriquaient les locomotives, et pendant longtemps cette usine constitua le premier établissement du monde entier, pour la construction de ces machines.

Après leur adoption sur la ligne de Liverpool à Manchester, les machines de la maison Robert Stephenson & C° se modifièrent rapidement et finirent par prendre la forme indiquée par la figure 63.

Tel fut le type qui fut conservé, jusqu'au jour où la puissance et le poids, toujours croissants, de ces machines, obligèrent à en augmenter le nombre des roues, et à y apporter diverses modifications dont le résultat final fut la création de types distincts pour les différentes sortes de service. Dans la machine de 1833, comme on le voit ci-dessous, les cylindres A sont reportés à l'avant de la chaudière ; les roues motrices B sont attaquées directement par la bielle de la machine et accouplées l'une avec l'autre. Un tampon C se trouve à l'avant; l'arrière de la chaudière forme une boîte à

feu rectangulaire D, qui continue le corps cylindrique E. La flamme et les gaz se rendent à la boîte à fumée F et à la cheminée G, en traversant un grand nombre de petits tubes *a*. La vapeur est conduite aux cylindres par un tuyau d'admission HH', dans lequel elle pénètre par la soupape régulateur *b*. Le dôme I a pour objet d'augmenter le réservoir de

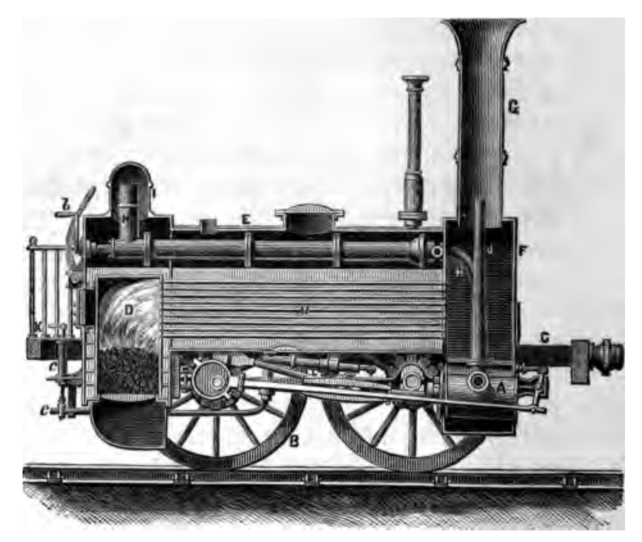


Fig. 63. — Locomotive de Stephenson. 1833.

vapeur, et d'éloigner la prise de vapeur du liquide agité, de manière à éviter les entraînements d'eau. La vapeur qui vient d'agir s'élance avec une grande vitesse dans la cheminée par le tube J, en donnant un tirage intense. Le conducteur de la machine se tient sur la plate-forme K, ayant sous la main tous les leviers et robinets. Les pompes d'alimentation L fournissent à la chaudière de l'eau qu'elles puisent dans le tender par les tuyaux *e*, *f*.

Le mécanisme de distribution était dès lors comme aujourd'hui « la coulisse Stephenson » (fig. 64). Sur l'axe moteur sont calés deux excentriques E, disposés de telle sorte que l'un correspond à la marche en avant, et l'autre à

la marche en arrière. Le premier est relié par son collier et sa bielle B à l'extrémité supérieure d'une coulisse A, tandis que le second est relié de même à l'extrémité inférieure. Au moyen du levier L, de la tringle *n*, du levier coudé avec contrepoids M, on peut élever ou abaisser la coulisse A, de manière à mettre la tige du tiroir en communication avec l'un ou l'autre excentrique. La coulisse étant

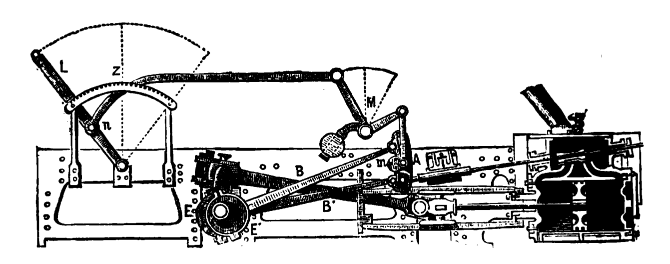


Fig. 64. — L'appareil distributeur de Stephenson. 1833.

placée dans sa position moyenne, le tiroir couvre à la fois les deux lumières du cylindre, et la machine ne peut se mouvoir ni dans un sens ni dans l'autre. Telle que la représente la figure, la machine est disposée pour la marche en arrière. Une série de crans Z, dans lesquels peut mordre un verrou L, permettent au conducteur de fixer la coulisse dans la position voulue. Dans les positions intermédiaires entre le cran du milieu et les deux crans extrêmes, le mouvement du tiroir est dirigé de façon à produire une certaine détente, ce qui procure une économie de vapeur, mais en réduisant la puissance de la machine.

Le succès des chemins de fer et des locomotives dans la Grande-Bretagne en amena rapidement l'introduction dans d'autres pays. En France, dès 1823, M. Beaunier fut autorisé à construire une voie ferrée entre les mines de charbon de Saint-Étienne et la Loire, en employant des chevaux pour la traction; en 1826, M. Seguin commença une ligne semblable de Saint-Étienne à Lyon. En 1832, des machines construites dans cette dernière ville furent substituées aux chevaux

sur ces deux lignes; mais les agitations intérieures du pays entravèrent les progrès du nouveau système; et dix ans après l'ouverture du chemin de fer de Manchester à Liverpool la France était encore dépourvue de ces moyens de communication.

En Belgique, la locomotive fut plus promptement acceptée. Sous la direction de Pierre Simon, jeune ingénieur entreprenant et instruit, qui s'était surtout fait connaître en soutenant le projet, déjà à l'ordre du jour, d'un canal à travers l'isthme du Darien, on prépara, en conformité d'un décret du 31 juillet 1834, un projet très complet de voies ferrées pour le royaume, et l'autorisation de l'exécuter fut promptement accordée. La ligne de Bruxelles à Mechlin fut ouverte le 6 mai 1837, et d'autres furent bientôt construites. Le réseau ferré belge est le plus ancien du continent européen.

La première ligne allemande ouverte au parcours des locomotives fut celle de Nuremberg à Fürth, construite sous la direction de M. Denis. Les autres contrées de l'Europe suivirent bientôt cette marche rapide vers le progrès.

Aux États-Unis, l'attention du public avait été appelée sur ce sujet, comme nous l'avons dit, dès le commencement de ce siècle par Evans et Stevens. A cette époque le peuple américain suivait attentivement, comme de juste, tout ce qui se passait d'important dans la mère-patrie. La révolution si radicale qui s'était produite du temps de Stephenson, dans les moyens de transport et de communication, ne pouvait manquer d'attirer l'attention générale et d'éveiller l'intérêt du public.

Malgré le succès des premiers essais d'Evans et autres, en dépit des arguments, si frappants au point de vue politique, de Stevens et Dearborn, en dépit même de la polémique énergiquement soutenue par tous ceux qui étaient au courant des progrès incessants et des usages multiples de la machine à vapeur, on ne fit rien pour introduire la locomotive en Amérique avant l'ouverture du chemin de fer de Manchester à Liverpool. En 1825, le colonel John Stevens avait construit une petite locomotive, qu'il avait placée sur

un railway circulaire devant sa maison — aujourd'hui Hudson Terrace — à Hoboken, pour prouver que ses affirmations reposaient sur des données sérieuses. Cette machine avait deux chaudières tubulaires « à lanterne », c'est-à-dire composées chacune d'une série de petits tubes de fer disposés verticalement en cercle autour du foyer[1]. Cette expérience n'eut toutefois d'autre résultat que d'exciter un certain intérêt, ce qui aida plus tard à la rapide extension des chemins de fer.

La première ligne ferrée dans les États de la Nouvelle-Angleterre fut, dit-on, établie, en 1826-27, à Quincy (Massachusets), entre une carrière de granit et le Neponset-River, sur une longueur de 3 milles. Celle qui va des mines de houille de Mauch-Chunk (Pensylvanie) à la rivière Lehigh, distante de 9 milles, fut construite en 1827. L'année suivante, la compagnie du canal de la Delaware à l'Hudson construisit un chemin de fer entre ses mines et l'extrémité du canal, à Honesdale. Les moteurs employés sur ces voies ferrées étaient la gravité, ou bien des chevaux et des mulets.

Le concours de Rainhill, sur la ligne de Liverpool à Manchester, avait reçu une telle publicité, et il promettait de fournir des données si concluantes sur la valeur réelle des locomotives et des chemins de fer, qu'une foule d'ingénieurs et d'autres personnes intéressées dans la question étaient accourues de toutes les parties du monde, pour assister à cette épreuve solennelle. Parmi les étrangers se trouvaient M. Horatio Allen, alors ingénieur en chef de la Compagnie du canal de l'Hudson à la Delaware, et M. E.-L. Miller, habitant de Charleston (Caroline du Sud), qui venaient des États-Unis tout exprès pour assister à l'essai des nouvelles machines.

M. Allen avait été autorisé à acheter trois locomotives et les rails pour la voie; il avait déjà embarqué une machine pour les États-Unis et l'avait mise en service. Cette machine fut reçue à New-York en mai 1829, et l'essai en fut fait au

1. Une de ces chaudières à compartiments est encore conservée dans la salle de conférences de l'auteur, à l'Instiut technologique Stevens.

mois d'août à Honesdale ; elle était conduite par M. Allen lui-même. Mais la voie n'était pas assez solide pour supporter la locomotive, qui fut mise de côté et ne fit jamais de service régulier. Elle s'appelait le *Lion de Stourbridge,* et avait été construite par Foster, Rastrick & C°, de Stourbridge en Angleterre. Pendant l'été de l'année suivante, une petite machine d'essai, exécutée en 1829 par Peter Cooper, de New-York, fut éprouvée avec succès à Baltimore sur la ligne qui va de cette ville à l'Ohio ; elle fit 13 milles en moins d'une heure et atteignit même, sur certains points, une vitesse de 18 milles à l'heure. Une voiture contenant 36 voyageurs lui était attelée. Elle n'était, du reste, considérée que comme un modèle de machine, et sa force n'était évaluée qu'à 1 cheval.

Ross Winans, relatant cet essai de la machine de Cooper, et, le comparant avec les résultats obtenus par la *Fusée* de Stephenson, prétendit que la première avait une supériorité marquée. Il concluait que cette épreuve établissait pleinement la possibilité pratique d'employer des locomotives à grande vitesse sur la ligne de Baltimore à l'Ohio, sans aucun inconvénient ni danger, malgré les courbes et les fortes pentes de la voie.

Cette machine avait une chaudière à tubes verticaux et le tirage était obtenu mécaniquement, comme dans la *Nouveauté,* de Liverpool, par un ventilateur rotatif. L'unique cylindre avait 3 pouces 1/4 de diamètre et la course du piston était de 14 pouces 1/2. Les roues avaient 30 pouces de diamètre, et elles étaient reliées à l'arbre à manivelle par un engrenage. La machine, dans ses essais, développa une force de 4,3 cheval, et remorqua un poids brut de 4 tonnes 1/2. M. Cooper, n'ayant pu trouver des tubes tels qu'il lui en fallait pour sa chaudière, avait employé des canons de fusil. L'ensemble de la machine pesait moins d'une tonne.

Un peu plus tard, MM. Davis et Gartner construisirent pour cette ligne le *York,* — locomotive à chaudière verticale, d'une forme très analogue aux chaudières des pompes à incendie à vapeur d'aujourd'hui.

Elle avait 51 pouces de diamètre et contenait 282 tubes

de 16 pouces de long, légèrement tronconiques ; leur diamètre était de 1 pouce 1/2 à la base et 1 pouce 1/4 seulement au sommet; les gaz de la combustion les traversaient pour se rendre dans une cheminée à tirage forcé. Cette machine pesait 3 tonnes 1/2.

Les mêmes ingénieurs construisirent ensuite plusieurs

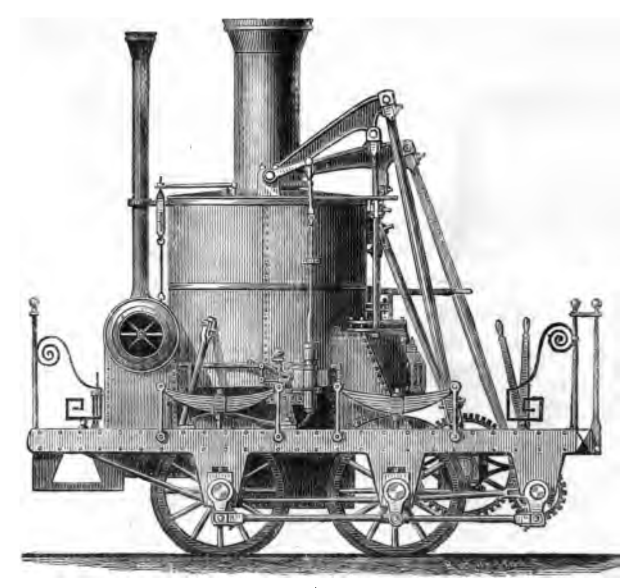


Fig. 65. — L'*Atlantique*. 1832.

machines en forme de « sauterelles » (fig. 65), dont quelques-unes fonctionnèrent pendant bien des années en rendant de bons services ; une ou deux existent encore. La première, l'*Atlantique*, fut mise en service en septembre 1832 et traîna 50 tonnes jusqu'à 40 milles de Baltimore, sur des pentes d'une inclinaison maximum de 37 pieds au mille, et sur des courbes d'un rayon minimum de 400 pieds; la vitesse était de 12 à 15 milles à l'heure. Cette machine pesait 6 tonnes 1/2 ; la pression de la vapeur y atteignait 50 livres au pouce carré (c'était alors la pression habituellement employée sur les deux continents), et elle consom-

mait une tonne de charbon d'anthracite pour le voyage. Le tirage était assuré par un ventilateur, et la distribution était manœuvrée par des cames au lieu d'excentriques. Le voyage revenait à 16 dollars, tandis qu'il fallait, pour faire le même travail, 42 chevaux avec une dépense de 33 dollars. La machine coûta 4,500 dollars, et le projet en fut établi par Phineas Davis, avec l'assistance de Ross Winans.

A son retour des essais faits sur la ligne de Liverpool à

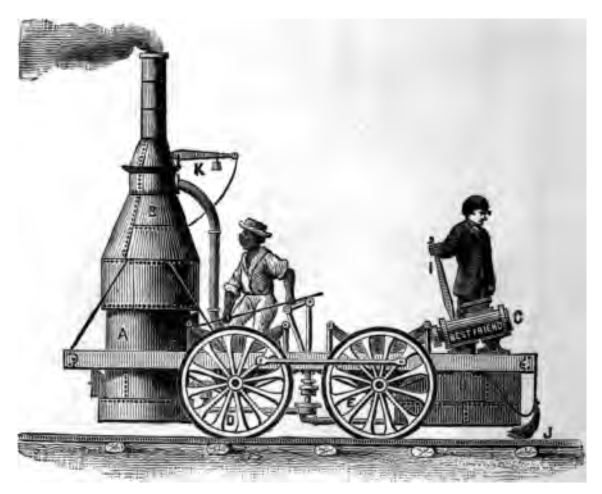


Fig. 66. — Le *Bon Ami.* 1830.

Manchester, M. Miller commanda, à la fonderie de West-Point, une locomotive pour la ligne de Charleston à Hamburg. Cette machine, construite pendant l'été de 1830, sur les dessins de M. Miller, devait, aux termes de la garantie, pouvoir remorquer trois fois son poids, à la vitesse de 10 milles par heure. Elle fut livrée à Charleston au mois d'octobre et les épreuves eurent lieu en novembre et décembre.

Elle avait (fig. 66) une chaudière tubulaire verticale; les gaz s'élevaient à travers une boîte à feu très haute, dans laquelle de nombreuses tiges faisaient saillie du sommet et des parois; puis ils sortaient par des tubes qui les conduisaient latéralement dans une chemise extérieure, à travers

laquelle ils montaient dans la cheminée. Il y avait 2 cylindres de 8 pouces de diamètre et de 16 pouces de course, inclinés et attaquant l'essieu moteur. Les quatre roues avaient toutes le même diamètre, 4 pieds 1/2, et elles étaient accouplées par des bielles. La machine pesait 4 tonnes 1/2. Le *Bon Ami (Best Friend)*, comme on l'appelait, fonctionna parfaitement jusqu'en juin 1831 ; mais à cette époque une explosion de la chaudière, due à la négligence du

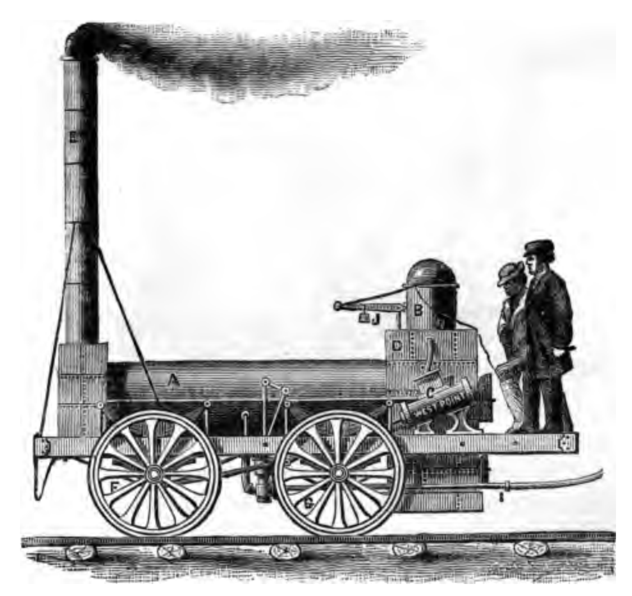


Fig. 67. — La *West-Point*. 1831.

chauffeur, vint tout à coup mettre un terme à sa carrière.

Une seconde machine (fig. 67) fut construite pour la même ligne à la Fonderie de West-Point, d'après les plans fournis par Horatio Allen. Elle fut reçue et commença à fonctionner dans les premiers jours du printemps de 1831. Cette locomotive, appelée la *West-Point*, avait une chaudière tubulaire horizontale ; mais, pour tout le reste, elle ressemblait beaucoup au *Bon Ami*. Elle rendit, paraît-il, de très bons services.

Le chemin de fer de Mohawk à l'Hudson commanda aussi, vers la même époque, une locomotive à la fonderie de West-Point, et les essais, faits en juillet et en août 1831, réussirent parfaitement.

Cette machine appelée le *De Witt Clinton*, et dont John B. Jervis avait entrepris la construction, fut montée par David Matthew. Elle avait 2 cylindres à vapeur, chacun de 5 pouces 1/2 de diamètre et de 16 pouces de course.



Fig. 68. — La *Caroline du Sud*. 1831.

Les bielles étaient directement reliées à un arbre coudé, et faisaient tourner 2 paires de roues accouplées de 4 pieds 1/2 de diamètre. Ces roues avaient des moyeux en fonte, des rais et des cercles en fer forgé. Les tubes étaient en cuivre de 2 pouces 1/2 de diamètre et de 6 pieds de long. La machine pesait 3 tonnes 1/2 et traînait 5 voitures à la vitesse de 30 milles à l'heure.

Une autre machine, la *Caroline du Sud* (fig. 68), fut projetée par Horatio Allen pour le chemin de fer de la Caroline du Sud et terminée vers la fin de 1831. C'était la première locomotive à 8 roues et aussi le prototype d'une forme spéciale, qu'on a voulu faire revivre dans ces derniers temps.

Dans l'été de 1832, une machine construite par MM. Davis et Gartner, de York (Pensylvanie), et qui fut placée sur la

ligne de Baltimore à l'Ohio, atteignit parfois, haut le pied, une vitesse de 30 milles à l'heure. Elle pesait 3 tonnes 1/2 et remorquait habituellement 4 voitures pesant ensemble 14 tonnes, de Baltimore à Ellicott's Mills, distance 13 milles, dans l'espace d'une heure fixé par le contrat.

La machine établie par Horatio Allen pour la ligne de la Caroline du Sud fut, dit-on, la première locomotive à 8 roues qui ait jamais été exécutée.

C'est vers l'époque dont nous parlons que parut la première locomotive du système spécialement connu aujourd'hui sous le nom de type américain, c'est-à-dire une machine avec un « truck » ou « bogie » supportant la partie antérieure de la chaudière. C'était l'*Américaine n° 1*, construite à la fonderie de West-Point sur les plans de John B. Jervis, ingénieur en chef de la ligne de Mohawk à l'Hudson. Winans avait déjà (1831) fait adopter la voiture à voyageurs avec trucks pivotants[1]. La machine fut terminée en août 1832, et M. Matthew rapporte que sa marche était très rapide et très douce. On obtint à plusieurs reprises une vitesse de 1 mille par minute, et même, d'après l'autorité déjà citée[2], on atteignit parfois sur plus d'un mille de parcours une vitesse de 80 milles à l'heure. Cette machine avait des cylindres de 9 pouces 1/2 de diamètre, 16 pouces de course de piston et 2 paires de roues motrices accouplées de 2 pieds de diamètre ; le truck avait des roues de 33 pouces. La chaudière contenait des tubes de 3 pouces de diamètre et la boîte à feu avait 5 pieds de long sur 2 pieds 10 pouces de large. Robert Stephenson & C° construisirent plus tard une machine semblable, d'après les plans de M. Jervis, et pour la même ligne. Elle commença à fonctionner en 1833. Dans ces deux locomotives, les roues motrices étaient en arrière de la boîte à feu.

Cette machine est encore un exemple d'un fait qui ressort avec évidence des descriptions qui précèdent ; c'est que

1. *History of the first locomotives in America*, Brown.

2. *Ross Winans* versùs *the Eastern Railroad Company. — Evidence.* Boston, 1854.

l'esprit d'indépendance des mécaniciens américains, la hardiesse et la confiance en eux-mêmes qui les ont caractérisés jusqu'à l'heure présente furent l'un des premiers fruits de l'indépendance et de la liberté politique des États-Unis.

Toutes ces machines américaines étaient organisées pour brûler de l'anthracite. Les locomotives anglaises brûlaient toutes, au contraire, de la houille bitumineuse.

Robert L. Stevens, le digne fils du colonel John Stevens de Hoboken, président et ingénieur de la ligne Cambden-Amboy, était occupé à la construction de cette ligne au moment où fut ouverte celle de Liverpool à Manchester. C'est là que fut appliquée, pour la première fois, la forme,

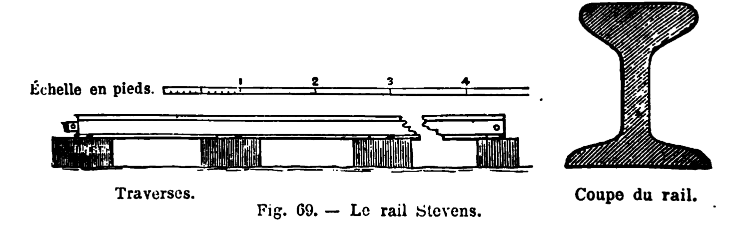


Fig. 69. — Le rail Stevens.

aujourd'hui typique, du rail en T. Ce rail était en fer forgé; il est représenté dans la figure 77. Il fut imaginé par M. Stevens, et c'est sous ce nom qu'on le connaît aux États-Unis. En Europe, où il fut introduit quelques années plus tard, on l'appelle quelquefois le rail Vignole. Robert Stevens acheta une machine aux Stephenson aussitôt après les essais de Rainhill; et cette machine, nommée le *John Bull*, fut installée en 1831 à Bordentown sur la ligne encore inachevée. La première épreuve publique en eut lieu au mois de novembre de la même année. La ligne ne fut ouverte à la circulation dans toute sa longueur que deux ans après. Cette machine avait des cylindres de 9 pouces de diamètre et de 2 pieds de course avec une seule paire de roues motrices de 4 pieds 1/2 de diamètre. Elle pesait 10 tonnes. Elle a figuré à l'exposition du Centenaire à Philadelphie en 1876, ainsi que celle exécutée par Phineas Davis pour la ligne de Baltimore à l'Ohio.

Les machines fournies à la ligne de Cambden-Amboy, après 1831, furent construites sur les dessins de Robert L. Stevens dans l'usine de MM. Stevens à Hoboken. Les autres lignes du pays, au début, se pourvurent généralement à l'usine Baldwin, qui n'était alors qu'un petit atelier, propriété de Matthias W. Baldwin. Le premier ouvrage de ce constructeur fut un petit modèle de machine, établi pour le Peale's Museum, afin de faire connaître aux visiteurs de

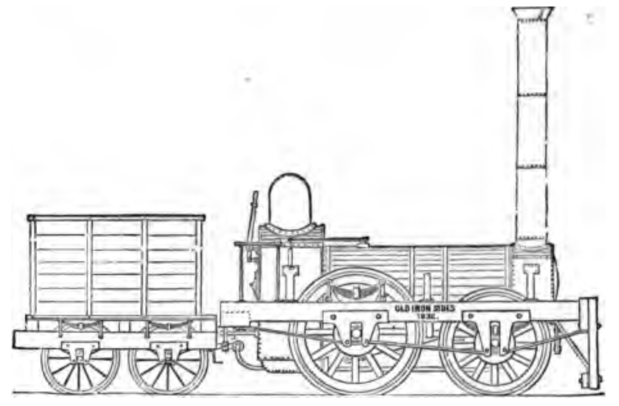


Fig. 70. — *Old Ironsides* (*Vieilles Côtes de fer*). 1832.

ce musée, alors très fréquenté, le caractère du nouveau moteur, dont la réussite à Rainhill venait d'exciter l'attention universelle. Ceci se passait en 1831, et le succès avec lequel fonctionna ce petit modèle valut à son auteur la commande d'une locomotive pour la ligne de Germantown à Philadelphie. M. Baldwin, après avoir étudié la nouvelle machine de la ligne de Cambden-Amboy, établit un projet et en construisit une (fig. 70), qu'il termina dans l'automne de 1832 et qu'il mit en service le 23 novembre de cette année. Elle continua de fonctionner sur cette ligne pendant plus de vingt ans.

Cette machine était du type de la *Planète*, de Stephenson, montée sur deux roues motrices de 4 pieds 1/2 de diamètre, et sur deux autres roues libres. Les cylindres avaient

9 pouces 1/2 de diamètre et ils étaient placés horizontalement de chaque côté de la boîte à fumée. La course du piston était de 18 pouces. La chaudière, de 2 pieds 1/2 de diamètre, contenait 72 tubes de cuivre de 1 pouce 1/2 de diamètre et de 7 pieds de long. La machine coûta 3,500 dollars à la Compagnie du chemin de fer. Dans les essais, la mise en pression ne demanda que 20 minutes, et la vitesse maximum atteinte fut de 28 milles à l'heure. Plus tard, celle de 30 milles fut même dépassée.

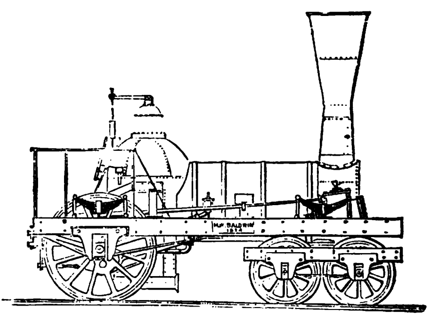


Fig. 71. — La *E.-L. Miller*. 1834.

En 1834, M. Baldwin construisit pour M. E.-L. Miller, de Charleston, une locomotive à 6 roues, la *E.-L. Miller* (fig. 71), dont les cylindres avaient 10 pouces de diamètre et le piston 16 pouces de course. Il donna à la chaudière de cette machine une forme qui resta typique pendant bien des années : un dôme élevé surmontait la boîte à feu.

Vers le même temps, il exécuta, pour le chemin de fer de l'État de Colombie, la *Lancastre*, machine ressemblant à la *Miller;* et en peu de temps plusieurs autres furent commandées et construites. A la fin de 1834, il en avait livré cinq, et la construction des locomotives était devenue une des industries principales et des plus prospères des États-Unis. En 1832, M. William Norris avait monté un atelier à Philadelphie ; il l'augmenta graduellement et en fit un établissement aussi important que l'usine Baldwin. Ses machines étaient d'ordinaire à 6 roues, avec un « truck » ou

« bogie » directeur ; et il plaçait les roues motrices en avant de la boîte à feu.

A cette époque, les locomotives anglaises étaient construites pour supporter une pression de 60 livres au pouce carré. Les constructeurs américains adoptèrent les pressions de 120 à 130 livres qui sont maintenant d'un usage universel. Dans les années 1836 et 1837, Baldwin construisit 80 machines. Il y en avait de 3 classes : celles de la première pesaient 12 tonnes, et leurs cylindres avaient 12 1/2 pouces de diamètre sur 16 de course ; dans la seconde classe, les cylindres étaient de 12 pouces sur 16, le poids s'abaissait à 10 1/2 tonnes ; dans la troisième enfin, le poids n'était plus que de 9 tonnes, et les cylindres, toujours avec la même course, n'avaient plus que 10 1/2 pouces de diamètre. Les roues motrices avaient habituellement 4 1/2 pieds de diamètre ; les bielles placées intérieurement agissaient sur un essieu coudé. Quelques machines à cylindres extérieurs furent aussi construites, et cette dernière disposition fut plus tard généralement adoptée.

Les chemins de fer des États-Unis purent bientôt se procurer leurs locomotives en Amérique même. En 1836, William Norris, s'étant rendu acquéreur, deux ans auparavant, des droits du colonel Stephen-H. Long, qui avait pris un brevet et construisait des locomotives de son invention, établit la machine *George Washington* et la fit fonctionner. Cette locomotive, pesant 14,400 livres, en remorquait 19,200 et remontait dans ces conditions, à la vitesse de 15 1/2 milles par heure, une rampe de 2,800 pieds de long dont la pente était de 369 pieds au mille, soit à peu près 1/14. L'adhérence était donc presque égale au tiers de la charge des roues motrices. On considéra ce résultat comme merveilleux, et il produisit à l'époque une telle impression que plusieurs reproductions du *George Washington* furent faites pour le compte des chemins de fer anglais. La réputation des constructeurs de locomotives des États-Unis fut par là élevée à une hauteur où elle s'est toujours maintenue depuis. La machine de Norris était d'ailleurs pourvue du truck d'avant de Jervis, qu'on voit maintenant appliqué

à toutes les machines en usage, et qui avait été déjà adapté aux voitures de chemins de fer par Ross Winans.

Dans la Nouvelle-Angleterre, la Compagnie des Écluses et Canaux de Lowell se mit, dès 1833, à faire des machines, en copiant celles de Stephenson. Hinckley & Drury, de Boston, commencèrent à construire, en 1840, un système de machines à cylindres extérieurs ; leurs successeurs firent, des usines à locomotives de Boston, le plus vaste établissement de ce genre dans la Nouvelle-Angleterre. Deux ans plus tard, Ross Winans, le constructeur de Baltimore, fit adopter sur les chemins de fer de l'Est quelques-unes de ses machines à chaudières verticales, brûlant de l'anthracite.

Les modifications que nous venons d'esquisser ont engendré le type de la locomotive américaine moderne. Il fallait nécessairement lui donner une forme telle, qu'elle pût fonctionner efficacement et sans danger sur des voies grossièrement établies, mal ballastées et présentant souvent des courbes très raides. Aussi l'on constata bientôt que les deux paires de roues motrices accouplées, portant les deux tiers du poids de la machine, le truck d'avant et le système des balanciers de suspension, grâce auxquels le poids total est également réparti entre les roues, quelles que soient la position de la machine et les irrégularités du chemin, faisaient de nos locomotives le meilleur type imaginable pour les chemins de fer d'un pays neuf. L'expérience a prouvé qu'elles n'étaient pas moins excellentes sur les voies les meilleures et les mieux établies. Le « chasse-vaches » placé en avant pour écarter de la voie les obstacles qui peuvent s'y rencontrer, la cloche et le puissant sifflet, sont aussi des traits caractéristiques de la machine américaine. La rigueur des tempêtes d'hiver força d'y adapter le « cab » ou logette pour le mécanicien, et l'emploi du bois comme combustible a conduit à imaginer le « pare-étincelles » pour cette classe spéciale de machines. Les pentes rapides de quelques lignes ont aussi fait adopter la « boîte à sable », qui dépose du sable sur les rails pour empêcher les roues de patiner.

En 1836 fut introduite la roue en fonte trempée, du type

aujourd'hui général pour les wagons et voitures; l'excentrique simple, en usage jusqu'alors sur les machines de Baldwin, fut remplacé par le double excentrique, avec pieds-de-biche au lieu de coulisse; et, un an plus tard, le châssis en fer remplaça le châssis en bois précédemment employé sur toutes les machines.

L'année 1837 fut le commencement d'une crise industrielle générale qui dura jusqu'en 1840 et même au delà, et entrava sérieusement la fabrication des machines de toute espèce, y compris les locomotives. Quand les affaires reprirent, il se fonda de nombreuses usines pour la construction de ces dernières; et dans ces établissements prirent naissance un grand nombre de types nouveaux, dont les mieux réussis étaient disposés en vue de certaines conditions spéciales. Cette variété de types se remarque encore sur presque toutes les principales lignes de chemins de fer.

La direction dans laquelle s'engageait la construction des locomotives, à l'époque où s'arrête ce chapitre de notre étude, est nettement indiquée dans une lettre de Robert Stephenson à Robert-L. Stevens, qui porte la date de 1833, et que l'on conserve encore à l'Institut technologique Stevens. On y trouve cette phrase : « Je regrette de voir que les railways légèrement construits soient si généralement en faveur aux États-Unis. En Angleterre, nous faisons nos lignes de plus en plus solides et massives. » Et Robert Stephenson ajoute : « Les petites machines perdent chaque jour du terrain, et chaque jour aussi nous fournit la preuve que les plus puissantes sont les plus économiques. » Il donne ensuite un dessin de sa dernière machine, pesant *9 tonnes* et capable, comme il le dit, de « traîner un poids brut de 100 tonnes à une vitesse de 16 ou 17 milles par heure, en terrain plat ». Aujourd'hui nous avons des machines qui pèsent 70 tonnes, et nos constructeurs de locomotives produisent des types pouvant traîner plus de 2,000 tonnes sur une bonne voie horizontale.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER



PARIS. — Impr. J. CLAYE. — A. QUANTIN et C[e], rue St-Benoît. [847]

CATALOGUE

DE

LIVRES DE FONDS

OUVRAGES HISTORIQUES

ET PHILOSOPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET Cie

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

Au coin de la rue Hautefeuille.

SEPTEMBRE 1879

COLLECTION HISTORIQUE DES GRANDS PHILOSOPHES

PHILOSOPHIE ANCIENNE

ARISTOTE (Œuvres d'), traduction de M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE.

— **Psychologie** (Opuscules) trad. en français et accompagnée de notes. 1 vol. in-8. . . . . 10 fr.

— **Rhétorique** traduite en français et accompagnée de notes. 1870, 2 vol. in-8. . . . . 16 fr.

— **Politique**, 1868, 1 v. in-8. 10 fr.

— **Traité du ciel**, 1866; traduit en français pour la première fois. 1 fort vol. grand in-8. . . . . 10 fr.

— **Météorologie**, avec le petit traité apocryphe : *Du Monde*, 1863. 1 fort vol. grand in-8. . . . . 10 fr.

— **La métaphysique d'Aristote**. 3 vol. in-8 1879. . . . . 30 fr.

— **Poétique**, 1858. 1 vol. in-8. 5 fr.

— **Traité de la production et de la destruction des choses**, trad. en français et accomp. de notes perpétuelles, 1866. 1 v. gr. in-8. 10 fr.

— **De la logique d'Aristote**, par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 2 volumes in-8. . . . . 10 fr.

— **Psychologie**, Traité de l'âme, 1 vol. in-8. . . . . (*Épuisé*.)

— **Physique**, ou leçons sur les principes généraux de la nature. 2 forts vol. in-8. . . . . (*Épuisé*.)

— **Morale**, 1856. 3 vol. grand in-8. (*Épuisé*.)

— **La logique**, 4 vol. in-8. (*Épuisé*.)

SOCRATE. **La philosophie de Socrate**, par M. Alf. FOUILLÉE. 2 vol. in-8. . . . . 16 fr.

PLATON. **La philosophie de Platon**, par M. Alfred FOUILLÉE. 2 volumes in-8. . . . . 16 fr.

— **Études sur la Dialectique dans Platon et dans Hegel**, par M. Paul JANET. 1 vol. in-8. . . 6 fr.

PLATON et ARISTOTE. **Essai sur le commencement de la science politique**, par VAN DER REST. 1 vol. in-8. . . . . 10 fr.

ÉPICURE. **La Morale d'Épicure** et ses rapports avec les doctrines contemporaines, par M. GUYAU 1 vol. in-8. . . . . 6 fr. 50

ÉCOLE D'ALEXANDRIE. **Histoire critique de l'École d'Alexandrie**, par M. VACHEROT. 3 vol. in-8. 24 fr.

—**L'École d'Alexandrie**, par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 1 v. in-8. 6 fr.

MARC-AURÈLE. **Pensées de Marc-Aurèle**, traduites et annotées par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 1 vol. in-18. . . . . 4 fr. 50

RITTER. **Histoire de la philosophie ancienne**, trad. par TISSOT. 4 vol. in-8. . . . . 30 fr.

FABRE (Joseph). **Histoire de la philosophie, antiquité et moyen âge**. 1 vol. in-18. . . . . 3 50

PHILOSOPHIE MODERNE

LEIBNIZ. **Œuvres philosophiques**, avec introduction et notes par M. Paul JANET. 2 vol. in-8. 16 fr.

— **La métaphysique de Leibniz et la critique de Kant**, par D. NOLEN. 1 vol. in-8. . . . . 6 fr.

— **Leibniz et Pierre le Grand**, par FOUCHER DE CAREIL. In-8. 2 fr.

— **Lettres et opuscules de Leibniz**, par FOUCHER DE CAREIL, 1 vol. in-8. . . . . 3 fr. 50

— **Leibniz, Descartes et Spinoza**, par FOUCHER DE CAREIL. 1 v. in-8. 4 fr.

— **Leibniz et les deux Sophie**, par FOUCHER DE CAREIL. 1 v. in-8. 2 fr.

DESCARTES. **Descartes, la princesse Élisabeth et la reine Christine**, par FOUCHER DE CAREIL. 1 vol. in-8. . . . . 3 fr. 50

SPINOZA. **Dieu, l'homme et la béatitude**, trad., et précédé d'une introduction par M. P. JANET. 1 vol. in-18 . . . . 2 fr. 50

LOCKE. **Sa vie et ses œuvres**, par M. MARION. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

MALEBRANCHE. **La philosophie de Malebranche**, par M. OLLÉ LAPRUNE. 2 vol. in-8. . . . . . 16 fr.

VOLTAIRE. **La philosophie de Voltaire**, par M. Ern. BERSOT. 1 vol. in-18. . . . . 3 fr. 50

VOLTAIRE. **Les sciences au XVIII[e] siècle. Voltaire physicien**, par M. Em. SAIGEY. 1 vol. in-8. . 5 fr.

BOSSUET. **Essai sur la philosophie de Bossuet**, par Nourrisson, 1 vol. in-8. . . . . 4 fr.

RITTER. **Histoire de la philosophie moderne**, traduite par P. Challemel-Lacour. 3 vol. in-8. 20 fr.

FRANCK (Ad.). **La philosophie mystique en France au XVIII[e] siècle.** 1 vol. in-18.... 2 fr. 50

DAMIRON. Mémoires pour servir à l'histoire de la philosophie au XVIII[e] siècle. 3 vol. in-8. 15 fr.

MAINE DE BIRAN. Essai sur sa philosophie, suivi de fragments inédits, par Jules Gérard. 1 fort vol. in-8. 1876............. 10 fr.

BERKELEY. Sa vie et ses œuvres, par Penjon. 1 v. in-8 (1878). 7 fr. 50

PHILOSOPHIE ÉCOSSAISE

DUGALD STEWART. **Éléments de la philosophie de l'esprit humain,** traduits de l'anglais par L. Peisse. 3 vol. in-12........... 9 fr.

W. HAMILTON. **Fragments de philosophie,** traduits de l'anglais par L. Peisse. 1 vol. in-8.. 7 fr. 50

— **La philosophie de Hamilton,** par J. Stuart Mill. 1 v. in-8. 10 fr.

PHILOSOPHIE ALLEMANDE

KANT. **Critique de la raison pure,** trad. par M. Tissot. 2 v. in-8. 16 fr.

— Même ouvrage, traduction par M. Jules Barni. 2 vol. in-8, avec une introduction du traducteur, contenant l'analyse de cet ouvrage.... 16 fr.

— **Éclaircissements sur la critique de la raison pure,** trad. par J. Tissot. 1 volume in-8... 6 fr.

— **Examen de la critique de la raison pratique,** traduit par M. J. Barni. 1 vol. in-8.... (*Epuisé.*)

— **Principes métaphysiques du droit,** suivis du *projet de paix perpétuelle,* traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8.......... 8 fr.

— Même ouvrage, traduction par M. Jules Barni. 1 vol. in-8... 8 fr.

— **Principes métaphysiques de la morale,** augmentés des *fondements de la métaphysique des mœurs,* traduct. par M. Tissot. 1 v. in-8. 8 fr.

— Même ouvrage, traduction par M. Jules Barni avec une introduction analytique. 1 vol. in-8...... 8 fr.

— **La logique,** traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8..... 4 fr.

— **Mélanges de logique,** traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8.. 6 fr.

— **Prolégomènes à toute métaphysique future** qui se présentera comme science, traduction de M. Tissot. 1 vol. in-8... 6 fr.

KANT. **Anthropologie,** suivie de divers fragments relatifs aux rapports du physique et du moral de l'homme, et du commerce des esprits d'un monde à l'autre, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8.... 6 fr.

KANT. **La critique de Kant et la métaphysique de Leibniz.** Histoire et théorie de leurs rapports, par D. Nolen. 1 vol. in-8. 1875. 6 fr.

FICHTE. **Méthode pour arriver à la vie bienheureuse,** traduite par Francisque Bouillier. 1 vol. in-8................. 8 fr.

— **Destination du savant et de l'homme de lettres,** traduite par M. Nicolas. 1 vol. in-8.... 3 fr.

— **Doctrines de la science.** Principes fondamentaux de la science de la connaissance, traduits par Grimblot. 1 vol. in-8..... 9 fr.

SCHELLING. **Bruno** ou du principe divin, trad. par Cl. Husson. 1 vol. in-8................. 3 fr. 50

— **Écrits philosophiques** et morceaux propres à donner une idée de son système, trad. par Ch. Bénard. 1 vol. in-8......... 9 fr.

HEGEL. **Logique,** traduction par A. Véra. 2[e] édition. 2 volumes in-8.................. 14 fr.

HEGEL. **Philosophie de la nature,** traduction par A. Véra. 3 volumes in-8.................. 25 fr.

Prix du tome II..... 8 fr. 50

Prix du tome III..... 8 fr. 50

— **Philosophie de l'esprit,** traduction par A. Véra. 2 volumes in-8................. 18 fr.

— **Philosophie de la religion,** traduction par A. Véra 2 vol. 20 fr.

— **Introduction à la philosophie de Hegel,** par A. Véra. 1 volume in-8............... 6 fr. 50

HEGEL. **Essais de philosophie hegelienne**, par A. VÉRA. 1 vol. 2 fr. 50

— **L'Hegelianisme et la philosophie**, par M. VÉRA. 1 volume in-18.............. 3 fr. 50

— **Antécédents de l'Hegelianisme dans la philosophie française**, par BEAUSSIRE. 1 vol. in-18............... 2 fr. 50

— **La dialectique dans Hegel et dans Platon**, par Paul JANET. 1 vol. in-8............. 6 fr.

— **La Poétique**, traduction par Ch. BÉNARD, précédée d'une préface et suivie d'un examen critique. Extraits de Schiller, Gœthe, Jean Paul, etc., et sur divers sujets relatifs à la poésie. 2 vol. in-8... 12 fr.

— **Esthétique**. 2 vol. in-8, traduite par M. BÉNARD........... 16 fr.

RICHTER (Jean-Paul). **Poétique ou Introduction à l'esthétique**, traduit de l'allemand par Alex. BUCHNER et Léon DUMONT. 2 vol. in-8. 15 fr.

HUMBOLDT (G. de). **Essai sur les limites de l'action de l'État**, traduit de l'allemand, et précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. CHRÉTIEN. 1 vol. in-18........... 3 fr. 50

— **La philosophie individualiste**, étude sur G. de HUMBOLDT, par CHALLEMEL-LACOUR. 1 vol. 2 fr. 50

STAHL. **Le Vitalisme et l'Animisme de Stahl**, par Albert LEMOINE. 1 vol. in-18.... 2 fr. 50

LESSING. **Le Christianisme moderne**. Étude sur Lessing, par FONTANÈS. 1 vol. in-18.. 2 fr. 50

PHILOSOPHIE ALLEMANDE CONTEMPORAINE

L. BUCHNER. **Science et nature**, traduction de l'allemand, par Aug. DELONDRE 2 vol. in-18.... 5 fr.

— **Le Matérialisme contemporain**, par M. P. JANET. 3ᵉ édit. 1 vol. in-18......... 2 fr. 50

HARTMANN (E. de). **La Religion de l'avenir**. 1 vol. in-18.. 2 fr. 50

— **La philosophie de l'inconscient**, traduit par M. D. NOLEN. 2 vol. in-8. 1876....... 20 fr.

— **Darwinisme**, ce qu'il y a de vrai et de faux dans cette doctrine, traduit par M. G. GUÉROULT. 1 vol. in-18, 2ᵉ édit.......... 2 fr. 50

— **La philosophie allemande du XIXᵉ siècle dans ses représentants principaux**, traduit par M. D. NOLEN. 1 vol. in-8. (*Sous presse.*)

— **La philosophie de M. de Hartmann**, par M. D. NOLEN. 1 vol. in-18............ (*Sous presse.*)

HÆCKEL. **Hæckel et la théorie de l'évolution en Allemagne**, par Léon DUMONT. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

— **Les preuves du transformisme**, trad. par M. SOURY. 1 vol. in-18............... 2 fr. 50

— **La psychologie cellulaire**, traduit par M. J. SOURY. 1 vol. in-12. 2 fr. 50

O. SCHMIDT. **Hartmann et les sciences naturelles**. 1 volume in-18................ 2 fr. 50

LANGE. **La philosophie de Lange**, par M. D. NOLEN. 1 vol. in-18. (*Sous presse.*)

LOTZE (H.). **Principes généraux de psychologie physiologique**, trad. par M. PENJON. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

STRAUSS. **L'ancienne et la nouvelle foi de Strauss**, étude critique par VÉRA. 1 vol. in-8. 6 fr.

MOLESCHOTT. **La Circulation de la vie**, Lettres sur la physiologie, en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, traduction de l'allemand par M. CAZELLES. 2 volumes in-18. Pap. vélin............. 10 fr.

SCHOPENHAUER. **Essai sur le libre arbitre**, traduit de l'allemand. 1 vol. in-18................. 2 fr. 50

— **Le fondement de la morale**, trad. de l'allemand par M. BOURDEAU, 1 vol. in-18.......... 2 fr. 50

— **Philosophie de Schopenhauer**, par Th. RIBOT. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

RIBOT (Th.). **La psychologie allemande contemporaine** (HERBART, BENEKE, LOTZE, FECHNER, WUNDT, etc.). 1 vol. in-8. 7 fr. 50

PHILOSOPHIE ANGLAISE CONTEMPORAINE

STUART MILL. **La philosophie de Hamilton.** 1 fort vol. in-8, trad. de l'anglais par E. CAZELLES.. 10 fr.

— **Mes Mémoires.** Histoire de ma vie et de mes idées, traduits de l'anglais par E. CAZELLES. 1 volume in-8.............. 5 fr.

— **Système de logique** déductive et inductive. Exposé des principes de la preuve et des méthodes de recherche scientifique, traduit de l'anglais par M. Louis PEISSE. 2 vol. in-8............ 20 fr.

— **Essais sur la Religion**, traduits de l'anglais, par E. CAZELLES. 1 vol. in-8............. 5 fr.

— **Le positivisme anglais**, étude sur Stuart Mill, par H. TAINE. 1 volume in-18............ 2 fr. 50

HERBERT SPENCER. **Les premiers Principes.** 1 fort vol. in-8, trad. de l'anglais par M. CAZELLES... 10 fr.

— **Principes de psychologie**, traduits de l'anglais par MM. Th. RIBOT et ESPINAS. 2 vol. in-8.... 20 fr.

— **Principes de biologie**, traduits par M. CAZELLES. 2 forts volumes in-8, t. I. 10 fr.

— **Introduction à la Science sociale.** 1 v. in-8 cart. 3ᵉ éd. 6 fr.

— **Principes de sociologie.** 2 vol. in-8.................. 20 fr.

— **Classification des Sciences.** 1 vol. in-18 .... 2 fr. 50

— **De l'éducation.** 1 volume in-8 .... 5 fr.

— **Essais sur le progrès**, traduit par M. BURDEAU. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

— **Essais de politique**, traduit par M. BURDEAU. 1 vol.... 7 fr. 50

— **Essais scientifiques**, traduit par M. BURDEAU. 1 vol. 7 fr. 50

— **Introduction à la morale.** In-8.................. 6 fr.

BAIN. **Des Sens et de l'Intelligence.** 1 vol. in-8, traduit de l'anglais par M. CAZELLES 10 fr.

— **La logique inductive et déductive**, traduite de l'anglais par M. COMPAYRÉ. 2 vol. in-8.. 20 fr.

BAIN **L'esprit et le corps.** 1 vol. in-8, cartonné, 2ᵉ édition.. 6 fr.

— **La science de l'éducation.** In-8.................. 6 fr.

DARWIN. **Ch. Darwin et ses précurseurs français**, par M. de QUATREFAGES. 1 vol. in-8.. 5 fr.

— **Descendance et Darwinisme**, par Oscar SCHMIDT. 1 volume in-8, cart.............. 6 fr.

— **Le Darwinisme**, ce qu'il y a de vrai et de faux dans cette doctrine, par E. DE HARTMANN, trad. par G. GUÉROULT, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

— **Le Darwinisme**, par ÉM. FERRIÈRE. 1 vol. in-18..... 4 fr. 50

— **Les récifs de corail**, leur structure et leur distribution. 1 volume in-8. .... 8 fr.

CARLYLE. **L'idéalisme anglais**, étude sur Carlyle, par H. TAINE. 1 vol. in-18........... 2 fr. 50

BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations** dans leurs rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 1 vol. in-8, 2ᵉ édit. 6 fr.

RUSKIN (JOHN). **L'esthétique anglaise**, étude sur J. Ruskin, par MILSAND. 1 vol. in-18 ... 2 fr. 50

MATTHEW ARNOLD. **La crise religieuse**, traduit de l'anglais. 1 vol. in-8. 1876........... 7 fr. 50

FLINT. **La philosophie de l'histoire en France et en Allemagne**, traduit de l'anglais par M. L. CARRAU. 2 vol. in-8. 15 fr.

RIBOT (Th.). **La psychologie anglaise contemporaine** (James Mill, Stuart Mill, Herbert Spencer, A. Bain, G. Lewes, S. Bailey, J.-D. Morell, J. Murphy), 1875. 1 vol. in-8, 2ᵉ édition....... 7 fr. 50

LIARD. **Les logiciens anglais contemporains** (Herschell, Whewell, Stuart Mill, G. Bentham, Hamilton, de Morgan, Beele, Stanley Jevons) 1 vol. in-18.......... 2 fr. 50

GUYAU. **La morale anglaise contemporaine.** Morale de l'utilité e de l'évolution. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

BIBLIOTHÈQUE

DE

PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Volumes in-18 à 2 fr. 50 c.

Cartonnés : 3 fr. ; reliés : 4 fr.

H. Taine.

Le Positivisme anglais, étude sur Stuart Mill.

L'Idéalisme anglais, étude sur Carlyle.

Philosophie de l'art, 3e édit.

Philosophie de l'art en Italie, 2e édition.

De l'Idéal dans l'art, 2e édit.

Philosophie de l'art dans les Pays-Bas.

Philosophie de l'art en Grèce.

Paul Janet.

Le Matérialisme contemporain. 2e édit.

La Crise philosophique. Taine, Renan, Vacherot, Littré.

Le Cerveau et la Pensée.

Philosophie de la révolution française.

Saint-Simon et le Saint-Simonisme.

Dieu, l'Homme et la Béatitude (*Œuvre inédite de Spinoza*).

Odysse-Barot.

Philosophie de l'histoire.

Alaux.

Philosophie de M. Cousin.

Ad. Franck.

Philosophie du droit pénal.

Philosophie du droit ecclésiastique.

La Philosophie mystique en France au XVIIIe siècle.

Charles de Rémusat.

Philosophie religieuse.

Charles Lévêque.

Le Spiritualisme dans l'art.

La Science de l'invisible. Étude de psychologie et de théodicée.

Émile Saisset.

L'Ame et la Vie, suivi d'une étude sur l'Esthétique française.

Critique et histoire de la philosophie (frag. et disc.).

Auguste Laugel.

Les Problèmes de la nature.

Les Problèmes de la vie.

Les Problèmes de l'ame.

La Voix, l'Oreille et la Musique.

L'Optique et les Arts.

Challemel-Lacour.

La Philosophie individualiste.

L. Büchner.

Science et Nature, trad. de l'allem. par Aug. Delondre. 2 vol.

Albert Lemoine.

Le Vitalisme et l'Animisme de Stahl.

De la Physionomie et de la Parole.

L'Habitude et l'instinct.

Milsand.

L'Esthétique anglaise, étude sur John Ruskin.

A. Véra.

Essais de philosophie hégélienne.

Beaussire.

Antécédents de l'hegelianisme dans la philos. française.

Bost.

Le Protestantisme libéral.

Francisque Bouillier.

De la Conscience.

Ed. Auber.

Philosophie de la médecine.

Leblais.

Matérialisme et Spiritualisme, précédé d'une Préface par M. E. Littré.

Ad. Garnier.

De la Morale dans l'antiquité, précédé d'une Introduction par M. Prévost-Paradol.

Schœbel.

Philosophie de la raison pure.

Tissandier.

Des sciences occultes et du Spiritisme.

Ath. Coquerel fils.

Origines et transformations du Christianisme.

La Conscience et la Foi.

Histoire du Credo.

Jules Levallois.

Déisme et Christianisme.

Camille Selden.

La Musique en Allemagne. Étude sur Mendelssohn.

Fontanès.

Le Christianisme moderne. Étude sur Lessing.

Stuart Mill.

Auguste Comte et la philosophie positive. 2e édition.

Mariano.

La Philosophie contemporaine en Italie.

Saigey.

La physique moderne, 2e tirage.

E. Faivre.

De la variabilité des espèces.

Ernest Bersot.

Libre philosophie.

A. Réville.

Histoire du dogme de la divinité de Jésus-Christ. 2e édition.

W. de Fonvielle.

L'Astronomie moderne.

C. Coignet.

La Morale indépendante.

E. Boutmy.

Philosophie de l'architecture en Grèce.

Et. Vacherot.

La Science et la Conscience.

Ém. de Laveleye.

Des formes de gouvernement.

Herbert Spencer.

Classification des Sciences.

Gauckler.

Le Beau et son histoire.

Max Müller.

La Science de la Religion.

Léon Dumont.

Haeckel et la théorie de l'évolution en Allemagne.

Bertauld.

L'ordre social et l'ordre moral.

De la philosophie sociale.

Th. Ribot.

Philosophie de Schopenhauer.

Al. Herzen.

Physiologie de la volonté.

Bentham et Grote.

La Religion naturelle.

Hartmann.

La Religion de l'avenir. 2e édit.

Le Darwinisme.

H. Lotze.

Psychologie physiologique.

Schopenhauer.

Le libre arbitre.

Le fondement de la morale.

Pensées et aphorismes.

Liard.

Les logiciens anglais.

Marion.

J. Locke.

O. Schmidt.

Les sciences naturelles et la philosophie de l'inconscient.

Haeckel.

Les preuves du transformisme.

La psychologie cellulaire.

Pi y Margall.

Les nationalités.

Barthélemy Saint-Hilaire.

De la métaphysique.

A. Espinas.

La philosophie expérimentale en Italie.

D. Nolen.

La Philosophie de Lange. *(Sous presse.)*

La philosophie de M. de Hartmann. *(Sous presse.)*

P. Siciliani.

La psychogénie moderne. *(Sous presse.)*

Les volumes suivants de la collection in-18 sont épuisés; il en reste quelques exemplaires sur papier vélin, cartonnés, tranche supérieure dorée :

Letourneau. **Physiologie des passions.** 1 vol. 5 fr.
Moleschott. **La circulation de la vie.** 2 vol. 10 fr.
Beauquier. **Philosophie de la Musique,** 1 vol. 5 fr.

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

FORMAT IN-8

Volumes à 5 fr., 7 fr. 50 et 10 fr. Cart., 1 fr. en plus par vol.; reliure, 2 fr.

JULES BARNI.

La morale dans la démocratie. 1 vol. 5 fr.

AGASSIZ.

De l'espèce et des classifications, traduit de l'anglais par M. Vogeli. 1 vol. 5 fr.

STUART MILL.

La philosophie de Hamilton, traduit de l'anglais par M. Cazelles. 1 fort vol. 10 fr.

Mes mémoires. Histoire de ma vie et de mes idées, traduit de l'anglais par M. E. Cazelles. 1 vol. 5 fr.

Système de logique déductive et inductive. Exposé des principes de la preuve et des méthodes de recherche scientifique, traduit de l'anglais par M. Louis Peisse. 2 vol. 20 fr.

Essais sur la Religion, traduits de l'anglais par M. E. Cazelles. 1 vol. 5 fr.

DE QUATREFAGES.

Ch. Darwin et ses précurseurs français. 1 vol. 5 fr.

HERBERT SPENCER.

Les premiers principes. 1 fort vol. traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.

Principes de psychologie, traduit de l'anglais par MM. Th. Ribot et Espinas. 2 vol. 20 fr.

Principes de biologie, traduit par M. Cazelles. 2 vol. in-8. 1877-1878. 20 fr.

Principes de sociologie :

Tome Ier, traduit par M. Cazelles 1 vol. in-8. 1878. 10 fr.

Tome II, traduit par MM. Cazelles et Gerschel. 1 vol. in-8, 1879. 7 fr. 50

Essais sur le progrès, traduit de l'anglais par M. Burdeau. 1 vol. in-8. 1877. 7 fr. 50

Essais de politique. 1 vol. in-8, traduit par M. Burdeau. 1878. 7 fr. 50

Essais scientifiques. 1 vol. in-8, traduit par M. Burdeau. 1879. 7 fr. 50

De l'éducation physique, intellectuelle et morale. 1 volume in-8. 2e édition, 1879. 5 fr.

AUGUSTE LAUGEL.

Les problèmes (Problèmes de la nature, problèmes de la vie, problèmes de l'âme). 1 fort vol 1879. 7 fr. 50

ÉMILE SAIGEY.

Les sciences au XVIIIe siècle, la physique de Voltaire. 1 vol. 5 fr.

PAUL JANET.

Histoire de la science politique dans ses rapports avec la morale. 2e édition, 2 vol. 20 fr.

Les causes finales. 1 vol. in-8. 1876. 10 fr.

TH. RIBOT.

De l'hérédité. 1 vol. 10 fr.

La psychologie anglaise contemporaine (école expérimentale). 1 vol., 2e édition. 1875. 7 fr. 50

La psychologie allemande contemporaine (école expérimentale). 1 vol. in-8. 1879. 7 fr. 50

HENRI RITTER.

Histoire de la philosophie moderne, traduction française, précédée d'une introduction par M. P. Challemel-Lacour. 3 vol. 20 fr.

ALF. FOUILLÉE.

La liberté et le déterminisme. 1 vol. 7 fr. 50

DE LAVELEYE

De la propriété et de ses formes primitives. 1 vol., 2e édit. 1877. 7 fr. 50

BAIN.

La logique inductive et déductive, traduit de l'anglais par M. Compayré. 2 vol. 20 fr.

Les sens et l'intelligence. 1 vol. traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.

Les émotions et la volonté. 1 fort vol. (*Sous presse.*)

MATTHEW ARNOLD.

La crise religieuse. 1 vol. in-8. 1876. 7 fr. 50

BARDOUX.

Les légistes et leur influence sur la société française. 1 vol. in-8. 1877. 5 fr.

HARTMANN (E. DE).

La philosophie de l'inconscient, traduit de l'allemand par M. D. Nolen, avec une préface de l'auteur écrite pour l'édition française. 2 vol. in-8. 1877. 20 fr.

La philosophie allemande du XIXe siècle, dans ses principaux représentants, traduit de l'allemand par M. D. Nolen. 1 vol. in-8. (*Sous presse.*)

ESPINAS (ALF.).

Des sociétés animales. 1 vol. in-8, 2e éd., précédée d'une Introduction sur l'*Histoire de la sociologie*, 1878. 7 fr. 50

FLINT.

La philosophie de l'histoire en France, traduit de l'anglais par M. Ludovic Carrau. 1 vol. in-8. 1878. 7 fr. 50

La philosophie de l'histoire en Allemagne, traduit de l'anglais par M. Ludovic Carrau. 1 vol. in-8. 1878. 7 fr. 50

LIARD.

La science positive et la métaphysique. 1 v. in-8. 7 fr. 50

GUYAU.

La morale anglaise contemporaine. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

BIBLIOTHÈQUE
D'HISTOIRE CONTEMPORAINE

Vol. in-18 à 3 fr. 50.

Vol. in-8 à 5 et 7 fr. Cart. 1 fr. en plus par vol.; reliure 2 fr.

EUROPE

HISTOIRE DE L'EUROPE PENDANT LA RÉVOLUTION FRANÇAISE, par *H. de Sybel*. Traduit de l'allemand par Mlle Dosquet. 3 vol. in-8. . . 21 »
Chaque volume séparément . . . . 7 »

FRANCE

HISTOIRE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE, par *Carlyle*. Traduit de l'anglais. 3 vol. in-18; chaque volume. 3 50
NAPOLÉON Ier ET SON HISTORIEN M. THIERS, par *Barni*. 1 vol. in-18. 3 50
HISTOIRE DE LA RESTAURATION, par *de Rochau*. 1 vol. in-18, traduit de l'allemand. 3 50
HISTOIRE DE DIX ANS, par *Louis Blanc*. 5 vol. in-8. . . . . 25 »
Chaque volume séparément . . . . 5 »
25 planches en taille-douce. Illustrations pour l'*Histoire de dix ans*. 6 »
HISTOIRE DE HUIT ANS (1840-1848), par *Elias Regnault*. 3 vol. in-8.. 15 »
Chaque volume séparément . . . . 5 »
14 planches en taille-douce. Illustrations pour l'*Histoire de huit ans*. 4 fr.
HISTOIRE DU SECOND EMPIRE (1848-1870), par *Taxile Delord*. 6 volumes in-8. . . . . 42 »
Chaque volume séparément . . . . 7 »
LA GUERRE DE 1870-1871, par *Boert*, d'après le colonel fédéral suisse Rustow. 1 vol. in-18. . . . . 3 50
LA FRANCE POLITIQUE ET SOCIALE, par *Aug. Laugel*. 1 volume in-8. 5 »
HISTOIRE DES COLONIES FRANÇAISES, par *P. Gaffarel*. 1 vol. in-8. . . 5 fr.

ANGLETERRE

HISTOIRE GOUVERNEMENTALE DE L'ANGLETERRE, DEPUIS 1770 JUSQU'A 1830, par sir *G. Cornewal Lewis*. 1 vol. in-8, traduit de l'anglais . . . . . 7 fr.
HISTOIRE DE L'ANGLETERRE depuis la reine Anne jusqu'à nos jours, par *H. Reynald*. 1 vol. in-18. . . . . 3 50
LES QUATRE GEORGES, par *Thackeray*, trad. de l'anglais par Lefoyer. 1 vol. in-18. . . . . 3 50
LA CONSTITUTION ANGLAISE, par *W. Bagehot*, traduit de l'anglais. 1 vol. in-18. . . . . 3 50
LOMBARD STREET, le marché financier en Angleterre, par *W. Bagehot*. 1 vol. in-18 . . . . 3 50
LORD PALMERSTON ET LORD RUSSELL, par *Aug. Laugel*. 1 volume in-18, 1876 . . . . 3 50

ALLEMAGNE

LA PRUSSE CONTEMPORAINE ET SES INSTITUTIONS, par *K. Hillebrand*. 1 vol. in-18 . . . . 3 50
HISTOIRE DE LA PRUSSE, depuis la mort de Frédéric II jusqu'à la bataille de Sadowa, par *Eug. Véron*. 1 vol. in-18 . . . . 3 50
HISTOIRE DE L'ALLEMAGNE, depuis la bataille de Sadowa jusqu'à nos jours, par *Eug. Véron*. 1 vol. in-18. . . . . 3 50
L'ALLEMAGNE CONTEMPORAINE, par *Ed. Bourloton*. 1 vol. in-18. . . . 3 50

AUTRICHE-HONGRIE

HISTOIRE DE L'AUTRICHE, depuis la mort de Marie-Thérèse jusqu'à nos jours, par *L. Asseline*. 1 volume in-18. . . . . 3 50

HISTOIRE DES HONGROIS et de leur littérature politique de 1790 à 1815, par *Ed. Sayous*. 1 vol. in-18. 3 50

ESPAGNE

L'ESPAGNE CONTEMPORAINE, journal d'un voyageur, par *Louis Teste*. 1 vol in-18. . . . . 3 50

HISTOIRE DE L'ESPAGNE, depuis la mort de Charles III jusqu'à nos jours, par *H. Reynald*. 1 vol. in-18. . . . . 3.50

RUSSIE

LA RUSSIE CONTEMPORAINE, par *Herbert Barry*, traduit de l'anglais. 1 vol. in-18. . . . . 3 50

HISTOIRE CONTEMPORAINE DE LA RUSSIE, par M. *F. Brunetière*. 1 volume in-18 . . . . (*Sous presse.*) 3 50

SUISSE.

LA SUISSE CONTEMPORAINE, par *H. Dixon*. 1 vol. in-18, traduit de l'anglais. 3 50

HISTOIRE DU PEUPLE SUISSE, par *Daendliker*, traduit de l'allemand par madame *Jules Favre*, et précédé d'une Introduction de M. *Jules Favre*. 1 vol. in-8 . . . . 5 fr.

ITALIE

HISTOIRE DE L'ITALIE, depuis 1815 jusqu'à nos jours, par *Elie Sorin*. 1 vol. in-8 . . . . (*Sous presse.*) 3 50

AMÉRIQUE

HISTOIRE DE L'AMÉRIQUE DU SUD, depuis sa conquête jusqu'à nos jours, par *Alf. Deberle*. 1 vol. in-18 . . . . 3 50

HISTOIRE DE L'AMÉRIQUE DU NORD (États-Unis, Canada, Mexique), par *Ad. Cohn*. 1 vol. in-18. . . . . (*Sous presse.*)

LES ÉTATS-UNIS PENDANT LA GUERRE, 1861-1864. Souvenirs personnels, par *Aug. Laugel*. 1 vol. in-18. . . . . 3.50

Eug. Despois. LE VANDALISME RÉVOLUTIONNAIRE. Fondations littéraires, scientifiques et artistiques de la Convention. 1 vol. in-18. . . . . . 3 50

Victor Meunier. SCIENCE ET DÉMOCRATIE. 2 vol. in-18, chacun séparément 3 50

Jules Barni. HISTOIRE DES IDÉES MORALES ET POLITIQUES EN FRANCE AU XVIIIe SIÈCLE. 2 vol. in-18, chaque volume 3 50

— NAPOLÉON Ier ET SON HISTORIEN M. THIERS. 1 vol. in-18. . . . 3 50

— LES MORALISTES FRANÇAIS AU XVIIIe SIÈCLE. 1 vol. in 18. . . . 3 50

Émile Montégut. LES PAYS-BAS. Impressions de voyage et d'art. 1 vol. in-18. . . . . 3 50

Émile Beaussire. LA GUERRE ÉTRANGÈRE ET LA GUERRE CIVILE. 1 vol. in-18. . . . . 3 50

J. Clamageran. LA FRANCE RÉPUBLICAINE. 1 volume in-18. . . 3 50

E. Duvergier de Hauranne. LA RÉPUBLIQUE CONSERVATRICE. 1 vol. in-18. . . . . 3 50

ÉDITIONS ÉTRANGÈRES

Éditions anglaises.

AUGUSTE LAUGEL. The United States during the war. In-8. 7 shill. 6 p.

ALBERT RÉVILLE. History of the doctrine of the deity of Jesus-Christ. 3 sh. 6 p.

H. TAINE. Italy (Naples et Rome). 7 sh. 6 p.

H. TAINE. The Philosophy of art. 3 sh.

PAUL JANET. The Materialism of present day. 1 vol. in-18, rel. 3 shill.

Éditions allemandes.

JULES BARNI. Napoleon I. In-18. 3 mr

PAUL JANET. Der Materialismus unsere Zeit. 1 vol. in-18. 3 m.

H. TAINE. Philosophie der Kunst. 1 vol in-18. 3 m.

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONALE

La *Bibliothèque scientifique internationale* n'est pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes qui se font chaque jour dans tous les pays. Chaque savant expose les idées qu'il a introduites dans la science et condense pour ainsi dire ses doctrines les plus originales.

On peut ainsi, sans quitter la France, assister et participer au mouvement des esprits en Angleterre, en Allemagne, en Amérique, en Italie, tout aussi bien que les savants mêmes de chacun de ces pays.

La *Bibliothèque scientifique internationale* ne comprend pas seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles, elle aborde aussi les sciences morales, comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattacheront encore aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais, en allemand, en russe et en italien : à Paris, chez Germer Baillière et Cie ; à Londres, chez C. Kegan, Paul et Cie; à New-York, chez Appleton; à Leipzig, chez Brockhaus; à Saint-Pétersbourg, chez Koropchevski et Goldsmith, et à Milan, chez Dumolard frères.

EN VENTE :

VOLUMES IN-8, CARTONNÉS A L'ANGLAISE, A 6 FRANCS

Les mêmes, en demi-reliure, veau. — 10 francs.

1. J. TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau**, avec figures. 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.
2. MAREY. **La machine animale**, locomotion terrestre et aérienne, avec de nombreuses fig. 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.
3. BAGEHOT. **Lois scientifiques du développement des nations** dans leurs rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 1 vol. in-8. 3e édition. 6 fr.
4. BAIN. **L'esprit et le corps.** 1 vol. in-8. 3e édition. 6 fr.
5. PETTIGREW. **La locomotion chez les animaux**, marche, natation. 1 vol. in-8, avec figures. 6 fr.
6. HERBERT SPENCER. **La science sociale.** 1 v. in-8. 4e éd. 6 fr.
7. O. SCHMIDT. **La descendance de l'homme et le darwinisme.** 1 vol. in-8, avec fig. 3e édition, 1878. 6 fr.

8. MAUDSLEY. **Le crime et la folie.** 1 vol. in-8. 3e édit. 6 fr.
9. VAN BENEDEN. **Les commensaux et les parasites dans le règne animal.** 1 vol. in-8, avec figures. 2e édit. 6 fr.
10. BALFOUR STEWART. **La conservation de l'énergie,** suivie d'une étude sur la nature de la force, par *M. P. de Saint-Robert*, avec figures. 1 vol. in-8. 3e édition. 6 fr.
11. DRAPER. **Les conflits de la science et de la religion.** 1 vol. in-8. 6e édition, 1878. 6 fr.
12. SCHUTZENBERGER. **Les fermentations.** 1 vol. in-8, avec fig. 3e édition, 1878. 6 fr.
13. L. DUMONT. **Théorie scientifique de la sensibilité.** 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.
14. WHITNEY. **La vie du langage.** 1 vol. in-8. 2e édit. 6 fr.
15. COOKE ET BERKELEY. **Les champignons.** 1 vol. in-8, avec figures. 3e édition. 6 fr.
16. BERNSTEIN. **Les sens.** 1 vol. in-8, avec 91 fig. 2e édit. 6 fr.
17. BERTHELOT. **La synthèse chimique.** 1 vol. in-8. 3e édition. 1879. 6 fr.
18. VOGEL. **La photographie et la chimie de la lumière,** avec 95 figures. 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.
19. LUYS. **Le cerveau et ses fonctions,** avec figures. 1 vol. in-8. 4e édition. 6 fr.
20. STANLEY JEVONS. **La monnaie et le mécanisme de l'échange.** 1 vol. in-8. 2e édition. 6 fr.
21. FUCHS. **Les volcans.** 1 vol. in-8, avec figures dans le texte et une carte en couleur. 2e édition. 6 fr.
22. GÉNÉRAL BRIALMONT. **Les camps retranchés et leur rôle dans la défense des États,** avec fig. dans le texte et 2 planches hors texte. 6 fr.
23. DE QUATREFAGES. **L'espèce humaine.** 1 vol. in-8. 4e édition, 1878. 6 fr.
24. BLASERNA ET HELMOLTZ. **Le son et la musique,** et *les Causes physiologiques de l'harmonie musicale.* 1 vol. in-8, avec figures, 2e édit. 1879. 6 fr.
25. ROSENTHAL. **Les nerfs et les muscles.** 1 vol. in-8, avec 75 figures. 2e édition, 1878. 6 fr.
26. BRUCKE ET HELMHOLTZ. **Principes scientifiques des beaux-arts,** suivis de **l'Optique et la peinture,** avec 39 figures dans le texte. 1878. 6 fr.
27. WURTZ. **La théorie atomique.** 1 vol. in-8. 2e éd., 1879. 6 fr.
28-29. SECCHI (le Père). **Les étoiles.** 2 vol. in-8, avec 63 figures dans le texte et 17 pl. en noir et en couleurs tirées hors texte. 1879. 12 fr.
30. JOLY. **L'homme avant les métaux** 1 vol. in-8, avec fig. 1879. 6 fr.
31. A. BAIN. **La science de l'éducation** 1 vol. in-8. 6 fr.
32-33. THURSTON. **Histoire des machines à vapeur.** 2 vol. in-8 avec de nombreuses figures dans le texte, et 16 planches hors texte. 12 fr.
34. HERBERT SPENCER. **Les données à la morale.** 1 vol. in-8. 6 fr.

OUVRAGES SUR LE POINT DE PARAITRE :

HARTMANN. **Les peuples de l'Afrique,** (avec figures),
E. CHANTRE. **L'âge de bronze** (avec figures).
HUXLEY. **L'écrevisse** (avec figures).

RÉCENTES PUBLICATIONS

HISTORIQUES ET PHILOSOPHIQUES

Qui ne se trouvent pas dans les Bibliothèques.

ALAUX. **La religion progressive.** 1869. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

ARRÉAT. **Une éducation intellectuelle.** 1 vol. in-18. 2 fr. 50

AUDIFFRET-PASQUIER. **Discours devant les commissions de la réorganisation de l'armée et des marchés.** In-4. 2 fr. 50

BARNI. Voy. KANT, pages 3, 10, 11 et 22.

BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. Voyez PHILOSOPHIE ANCIENNE, pages 2 et 7.

BAUTAIN. **La philosophie morale.** 2 vol. in-8. 12 fr.

BÉNARD (Ch.). **De la Philosophie dans l'éducation classique,** 1862. 1 fort vol. in-8. 6 fr.

BÉNARD (Ch.). Voyez SCHELLING, page 3 et HEGEL, pages 3 et 4.

BERTAULD (P.-A). **Introduction à la recherche des causes premières. — De la méthode.** Tome Ier. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

BLANCHARD. **Les métamorphoses, les mœurs et les instincts des insectes,** par M. Émile BLANCHARD, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1 magnifique volume in-8 jésus, avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte. 2e édition, 1877. Prix, broché. 25 fr.
Relié en demi-marequin. 30 fr.

BLANQUI. **L'éternité par les astres,** hypothèse astronomique. 1872, in-8. 2 fr.

BORÉLY (J.). **Nouveau système électoral, représentation proportionnelle de la majorité et des minorités.** 1870, 1 vol. in-18 de XVIII-194 pages. 2 fr. 50

BOUCHARDAT. **Le travail,** son influence sur la santé (conférences faites aux ouvriers). 1863. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BOURBON DEL MONTE (François). **L'homme et les animaux,** essai de psychologie positive. 1 vol. in-8, avec 3 pl. hors texte. 5 fr.

BOURDET (Eug.). **Principe d'éducation positive,** nouvelle édition, entièrement refondue, précédée d'une préface de M. CH. ROBIN. 1 vol. in-18 (1877). 3 fr. 50

BOURDET (Eug.). **Vocabulaire des principaux termes de la philosophie positive,** avec notices biographiques appartenant au calendrier positiviste. 1 vol. in-18 (1875). 3 fr. 50

BOUTROUX. **De la contingence des lois de la nature.** In-8, 1874. 4 fr.

BROCHARD (V.). **De l'Erreur.** 1 vol. in-8, 1879. 3 fr. 50

CADET. **Hygiène, inhumation, crémation** ou incinération des corps. 1 vol. in-18, avec figures dans le texte. 2 fr.

CARETTE (le colonel). **Études sur les temps antéhistoriques.** Première étude : *Le Langage*. 1 vol. in-8, 1878. 8 fr.

CHASLES (PHILARÈTE). **Questions du temps et problèmes d'autrefois.** Pensées sur l'histoire, la vie sociale, la littérature. 1 vol. in-18, édition de luxe. 3 fr.

CLAVEL. **La morale positive.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr.

CLAVEL. **Les principes au XIXe siècle.** 1 v. in-18, 1877. 1 fr.

CONTA. **Théorie du fatalisme.** 1 vol. in-18, 1877. 4 fr.

COQUEREL (Charles). **Lettres d'un marin à sa famille.** 1870, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

COQUEREL fils (Athanase). **Libres études** (religion, critique, histoire, beaux-arts). 1867, 1 vol. in-8. 5 fr.

COQUEREL fils (Athanase). **Pourquoi la France n'est-elle pas protestante?** Discours prononcé à Neuilly le 1er novembre 1866. 2e édition, in-8. 1 fr.

COQUEREL fils (Athanase). **La charité sans peur,** sermon en faveur des victimes des inondations, prêché à Paris le 18 novembre 1866. In-8. 75 c.

COQUEREL fils (Athanase). **Évangile et liberté,** discours d'ouverture des prédications protestantes libérales, prononcé le 8 avril 1868. In-8. 50 c.

COQUEREL fils (Athanase). **De l'éducation des filles,** réponse à Mgr l'évêque d'Orléans, discours prononcé le 3 mai 1868. In-8. 1 fr.

CORBON. **Le secret du peuple de Paris.** 1 vol. in-8. 5 fr.

CORMENIN (DE)- TIMON. **Pamphlets anciens et nouveaux.** Gouvernement de Louis-Philippe, République, Second Empire. 1 beau vol. in-8 cavalier. 7 fr. 50

Conférences de la Porte-Saint-Martin pendant le siége de Paris. Discours de MM. *Desmarets* et *de Pressensé*. — Discours de M. *Coquerel,* sur les moyens de faire durer la République. — Discours de M. *Le Berquier,* sur la Commune. — Discours de M. *E. Bersier,* sur la Commune. — Discours de M. *H. Cernuschi,* sur la Légion d'honneur. In-8. 1 fr. 25

Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Quelle est la meilleure forme de gouvernement?** Ouvrage traduit de l'anglais, précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Mervoyer, docteur ès lettres. 1867, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

CORTAMBERT (Louis). **La religion du progrès.** 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DAURIAC (Lionel). **Des notions de force et de matière dans les sciences de la nature.** 1 vol. in-8, 1878. 5 fr.

DAVY. **Les conventionnels de l'Eure.** Buzot, Duroy, Lindet, à travers l'histoire. 2 forts vol. in-8 (1876). 18 fr.

DELAVILLE. **Cours pratique d'arboriculture fruitière pour la région du nord de la France,** avec 269 fig. In-8. 6 fr.

DELBOEUF. **La psychologie comme science naturelle.** 1 vol. in-8, 1876. 2 fr. 50

DELEUZE. **Instruction pratique sur le magnétisme animal,** précédée d'une Notice sur la vie de l'auteur. 1853. 1 vol. in-12. 3 fr. 50

DESJARDINS. **Les jésuites et l'université devant le parlement de Paris** au XVIe siècle, 1 br. in-8 (1877). 1 fr. 25

DESTREM (J.). **Les déportations du Consulat.** 1 br. in-8. 1 fr. 50

DOLLFUS (Ch.). **De la nature humaine.** 1868, 1 v. in-8. 5 fr.

DOLLFUS (Ch.). **Lettres philosophiques.** 3e édition. 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DOLLFUS (Ch.). **Considérations sur l'histoire.** Le monde antique. 1872, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

DOLLFUS (Ch.). **L'âme dans les phénomènes de conscience.** 1 vol. in-18 (1876). 3 fr.

DUBOST (Antonin). **Des conditions de gouvernement en France.** 1 vol. in-8 (1875). 7 fr. 50

DUFAY. **Etudes sur la Destinée.** 1 vol. in-18, 1876. 3 fr.

DUMONT (Léon). **Le sentiment du gracieux.** 1 vol. in-8. 3 fr.

DUMONT (Léon). **Des causes du rire.** 1 vol. in-8. 2 fr.

DUMONT (Léon). Voyez pages 4, 7 et 12.

DU POTET. **Manuel de l'étudiant magnétiseur.** Nouvelle édition. 1868, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DU POTET. **Traité complet de magnétisme**, cours en douze leçons. 1879, 4[e] édition, 1 vol. in-8 de 634 pages. 8 fr.

DUPUY (Paul). **Études politiques**, 1874. 1 v. in-8. 3 fr. 50

DUVAL-JOUVE. **Traité de Logique**, 1855. 1 vol. in-8. 6 fr.

Éléments de science sociale. Religion physique, sexuelle et naturelle. 1 vol. in-18. 3[e] édit., 1877. 3 fr. 50

ÉLIPHAS LÉVI. **Dogme et rituel de la haute magie.** 1861, 2[e] édit., 2 vol. in-8, avec 24 fig. 18 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Histoire de la magie**, 1860, 1 vol. in-8, avec 90 fig. 12 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **La science des esprits**, révélation du dogme secret des Kabbalistes, esprit occulte de l'Évangile, appréciation des doctrines et des phénomènes spirites. 1865, 1 v. in-8. 7 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Clef des grands mystères**, suivant Hénoch, Abraham, Hermès Trismégiste et Salomon. 1861, 1 vol. in-8, avec 20 planches. 12 fr.

EVANS (John). **Les âges de la pierre**, 1 beau volume grand in-8, avec 467 fig. dans le texte, trad. par M. Ed. BARBIER. 1878. 15 fr. — En demi-reliure. 18 fr.

FABRE (Joseph). **Histoire de la philosophie.** Première partie : Antiquité et moyen âge. 1 v. in-12, 1877. 3 fr. 50
Deuxième partie : Renaissance et temps modernes. (*Sous presse.*)

FAU. **Anatomie des formes du corps humain**, à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 et atlas de 25 planches. 2[e] édition. Prix, fig. noires. 20 fr.; fig. coloriées. 35 fr.

FAUCONNIER. **La question sociale**, in-18, 1878. 3 fr. 50

FAUCONNIER. **Protection et libre échange**, brochure in-8 (1879). 2 fr.

FOX (W.-J.). **Des idées religieuses.** In-12 1876. 3 fr.

FERBUS (N.). **La science positive du bonheur.** 1 v. in-18. 3 fr.

FERRIER (David). **Les fonctions du cerveau.** 1 vol. in-8, traduit de l'anglais. 1878, avec fig. 10 fr.

FERRON (de). **Théorie du progrès**, 2 vol. in-18. 7 fr.

FERRIÈRE (EM.). **Le darwinisme.** 1872, 1 v. in-18. 4 fr. 50

FONCIN. **Essai sur le ministère de Turgot.** 1 vol. grand in-8 (1876). 8 fr.

FOUCHER DU CAREIL. Voyez LEIBNIZ, p. 2.

FOUILLÉE. Voyez p. 2 et 9.

FOX (W.-J.). **Des idées religieuses.** In-8, 1876. 3 fr.

FRÉDÉRIQ. **Hygiène populaire.** 1 vol. in-12, 1875. 4 fr.

GASTINEAU. **Voltaire en exil.** 1 vol. in-18. 3 fr.

GÉRARD (Jules). **Maine de Biran, essai sur sa philosophie.** 1 fort vol. in-8, 1876. Ouvrage couronné par l'Académie des sciences morales et politiques. 10 fr.

GOUET (AMÉDÉE). **Histoire nationale de France**, d'après des documents nouveaux.

Tome I. Gaulois et Francks. — Tome II. Temps féodaux. — Tome III. Tiers état. — Tome IV. Guerre des princes. — Tome V. Renaissance. — Tome VI. Réforme. — Tome VII. Guerres de religion. (*Sous presse.*) Prix de chaque vol. in-8. 5 fr.

GUICHARD (Victor). **La liberté de penser**, fin du pouvoir spirituel. 1 vol. in-18, 2e édition, 1878. 3 fr. 50

GUILLAUME (de Moissey). **Nouveau traité des sensations.** 2 vol. in-8 (1876). 15 fr.

HERZEN. **Œuvres complètes.** Tome Ier. *Récits et nouvelles.* 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

HERZEN. **De l'autre Rive.** 4e édition, traduit du russe par M. Herzen fils. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

HERZEN. **Lettres de France et d'Italie.** 1871, in-18. 3 fr. 50

ISSAURAT. **Moments perdus de Pierre-Jean**, observations, pensées, 1868, 1 vol. in-18. 3 fr.

ISSAURAT. **Les alarmes d'un père de famille**, suscitées, expliquées, justifiées et confirmées par lesdits faits et gestes de Mgr Dupanloup et autres. 1868, in-8. 1 fr.

JANET (Paul). Voyez pages 2, 4, 6, 9 et 11.

JOZON (Paul). **Des principes de l'écriture phonétique** et des moyens d'arriver à une orthographe rationnelle et à une écriture universelle. 1 vol. in-18. 1877. 3 fr. 50

LABORDE. **Les hommes et les actes de l'insurrection de Paris** devant la psychologie morbide. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

LACHELIER. **Le fondement de l'induction.** 1 vol. in-8. 3 fr. 50

LACOMBE. **Mes droits.** 1869, 1 vol. in-12. 2 fr. 50

LAMBERT. **Hygiène de l'Égypte.** 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

LANGLOIS. **L'homme et la Révolution.** Huit études dédiées à P.-J. Proudhon. 1867. 2 vol. in-18. 7 fr.

LAUSSEDAT. **La Suisse.** Études médicales et sociales. 2e édit., 1875. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

LAVELEYE (Em. de). **De l'avenir des peuples catholiques.** 1 brochure in-8. 21e édit. 1876. 25 c.

LAVELEYE (Em. de). Voy. pages 7 et 9.

LAVERGNE (Bernard). **L'ultramontanisme et l'État.** 1 vol. in-8 (1875). 1 fr. 50

LE BERQUIER. **Le barreau moderne.** 1871, in-18. 3 fr. 50

LEDRU (Alphonse). **Organisation, attributions et responsabilité des conseils de surveillance des sociétés en commandite par actions.** Grand in-8 (1876). 3 fr. 50

LEDRU (Alphonse). **Des publicains et des Sociétés vectigaliennes.** 1 vol. grand in-8 (1876). 3 fr.

LEDRU-ROLLIN. **Discours politiques et écrits divers** 2 vol. in-8 cavalier (1879). 12 fr.

LEMER (Julien). **Dossier des jésuites et des libertés de l'Église gallicane.** 1 vol. in-18 (1877). 3 fr. 50

LITTRÉ. **Conservation, révolution et positivisme.** 1 vol. in-12, 2e édition (1879). 5 fr.

LITTRÉ. **Fragments de philosophie.** 1 vol. in-8. 1876. 8 fr.

LITTRÉ. **Application de la philosophie positive au gouvernement des Sociétés.** In-8. 3 fr. 50

LITTRÉ. **Conservation, révolution et positivisme.** 1 vol. in-12. 2e édition. 1879. 5 fr.

LORAIN (P.). **L'assistance publique.** 1871, in-4 de 56 p. 1 fr.

LUBBOCK (sir John). **L'homme préhistorique**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une Description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. BARBIER, 526 figures intercalées dans le texte. 1876, 2e édition, considérablement augmentée, suivie d'une conférence de M. P. BROCA sur *les Troglodytes de la Vezère*. 1 beau vol. in-8, br. 15 fr.
Cart. riche, doré sur tranche. 18 fr.

LUBBOCK (sir John). **Les origines de la civilisation.** État primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes. 1877, 1 vol. grand in-8 avec figures et planches hors texte. Traduit de l'anglais par M. Ed. BARBIER. 2e édition. 1877. 15 fr.
Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

MAGY. **De la science et de la nature**, essai de philosophie première. 1 vol. in-8. 6 fr.

MARAIS (Aug.). **Garibaldi et l'armée des Vosges.** 1872, 1 vol. in-18. 1 fr. 50

MENIÈRE. **Cicéron médecin**, étude médico-littéraire. 1862, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

MENIÈRE. **Les consultations de madame de Sévigné**, étude médico-littéraire. 1864, 1 vol. in-8. 3 fr.

MESMER. **Mémoires et aphorismes**, suivi des procédés de d'Eslon. Nouvelle édition, avec des notes, par J.-J.-A. RICARD. 1846, in-18. 2 fr. 50

MICHAUT (N.). **De l'imagination.** Études psychologiques. 1 vol. in-8 (1876). 5 fr.

MILSAND. **Les études classiques** et l'enseignement public. 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

MILSAND. **Le code et la liberté.** 1865, in-8. 2 fr.

MIRON. **De la séparation du temporel et du spirituel.** 1866, in-8. 3 fr. 50

MORIN. **Du magnétisme et des sciences occultes.** 1860, 1 vol. in-8. 6 fr.

MORIN (Frédéric). **Politique et philosophie**, précédé d'une introduction de M. JULES SIMON. 1 vol. in-18. 1876. 3 fr. 50

MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes.** 4e édition, 1862, 1 vol. grand in-18. 4 fr. 50

NOLEN (D.). **La critique de Kant et la métaphysique de Leibniz**, histoire et théorie de leurs rapports. 1 volume in-8 (1875). 6 fr.

NOURRISSON. **Essai sur la philosophie de Bossuet.** 1 vol. in-8. 4 fr.

OGER. **Les Bonaparte** et les frontières de la France. In-18. 50 c.

OGER **La République.** 1871, brochure in-8. 50 c.

OLLÉ-LAPRUNE. **La philosophie de Malebranche.** 2 vol. in-8. 16 fr.

PARIS (comte de). **Les associations ouvrières en Angleterre** (trades-unions). 1869, 1 vol. gr. in-8. 2 fr. 50
Édition sur pap. de Chine : Broché, 12 fr.; rel. de luxe. 20 fr.

PELLETAN (Eugène). **La naissance d'une ville** (Royan). 1 vol. in-18. 2 fr.

PELLETAN (Eugène). Voyez pages 22 et 24.

PENJON. **Berkeley**, sa vie et ses œuvres. In-8, 1878. 7 fr. 50

PEREZ (Bernard). **Les trois premières années de l'enfant**, étude de psychologie expérimentale. 1878, 1 vol. 3 fr. 50

PETROZ (P.). **L'art et la critique en France** depuis 1822 1 vol. in-18. 1875. 3 fr. 50

POEY (André). **Le positivisme.** 1 fort vol. in-12 (1876). 4 fr. 50

POULLET. **La campagne de l'Est** (1870-1871). 1 vol. in-8 avec 2 cartes, et pièces justificatives, 1879. 7 fr.

PUISSANT (Adolphe). **Erreurs et préjugés populaires.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Recrutement des armées de terre et de mer, loi de 1872. 1 vol. in-4. 12 fr.

Réorganisation des armées active et territoriale, lois de 1873-1875. 1 vol. in-4. 18 fr.

REYMOND (William). **Histoire de l'art.** 1874, 1 vol. in-8. 5 fr.

RIBOT (Paul). **Matérialisme et spiritualisme.** 1873, in-8. 6 fr.

SALETTA. **Principes de logique positive.** In-8.. 3 fr. 50

SECRÉTAN. **Philosophie de la liberté,** l'histoire, l'idée. 3e édition, 1879, 2 vol. in-8. 10 fr.

SIEGFRIED (Jules). **La misère, son histoire, ses causes, ses remèdes.** 1 vol. grand in-18. 3e édition (1879). 2 fr. 50

SIÈREBOIS. **Autopsie de l'âme.** Identité du matérialisme et du vrai spiritualisme. 2e édit. 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

SIÈREBOIS. **La morale** fouillée dans ses fondements. Essai d'anthropodicée. 1867, 1 vol. in-8. 6 fr.

SIÈREBOIS. **Psychologie réaliste.** Étude sur les éléments réels de l'âme et de la pensée. 1 vol. in-18 (1876). 2 fr. 50

SMEE (A.). **Mon jardin,** géologie, botanique, histoire naturelle. 1876, 1 magnifique vol. gr in-8, orné de 1300 fig. et 52 pl. hors texte. Broché, 15 fr. Cartonn. riche, tranches dorées.. 20 fr.

SOREL (ALBERT). **Le traité de Paris du 20 novembre 1815.** 1873, 1 vol. in-8. 4 fr. 50

THULIÉ. **La folie et la loi.** 1867, 2e édit., 1 vol. in-8. 3 fr. 50

THULIÉ. **La manie raisonnante du docteur Campagne,** 1870, broch. in-8 de 132 pages. 2 fr.

TIBERGHIEN. **Les commandements de l'humanité.** 1872. 1 vol. in-18. 3 fr.

TIBERGHIEN. **Enseignement et philosophie.** In-18. 4 fr.

TIBERGHIEN. **La science de l'âme.** 1 v. in-12, 3e édit. 1879. 6 fr.

TIBERGHIEN. **Éléments de morale univ.** 1 v. in-12, 1879. 2 fr.

TISSANDIER. **Etudes de Théodicée.** 1869, in-8 de 270 p. 4 fr.

TISSOT. **Principes de morale.** In-8. 6 fr.

TISSOT. Voyez KANT, page 3.

VACHEROT. Voyez p. 2 et 7.

VAN DER REST. **Platon et Aristote.** In-8, 1876. 10 fr.

VÉRA. **Strauss et l'ancienne et la nouvelle foi.** In-8. 6 fr.

VÉRA. **Cavour et l'Église libre dans l'État libre.** 1874, in-8. 3 fr. 50

VÉRA. **L'Hegélianisme et la philosophie.** In-18. 3 fr. 50

VÉRA. **Mélanges philosophiques.** 1 vol. in-8, 1862. 5 fr.

VÉRA. **Platonis, Aristotelis et Hegelii de medio termino doctrina.** 1 vol. in-8. 1845. 1 fr. 50

VÉRA. **Introduction à la philosophie de Hegel.** 1 vol. in-8, 2e édition. 6 fr. 50

VILLIAUMÉ. **La politique moderne,** 1873, in-8. 6 fr.

VOITURON (P.). **Le libéralisme et les idées religieuses.** 1 vol. in-12. 4 fr.

WEBER. **Histoire de la philosop. europ.** In-8, 2e édit. 10 fr.

YUNG (EUGÈNE). **Henri IV, écrivain.** 1 vol. in-8. 1855. 5 fr.

ZIMMERMANN. **De la solitude.** In-8. 3 fr. 5.

[illegible]

DE LA DÉFENSE NATIONALE

[illegible] TÉMOINS :

TOME [illegible] MM. Thiers [illegible] [illegible] — [illegible] Brunet [illegible] etc.

TOME [illegible] MM. [illegible] [illegible] — [illegible] etc.

TOME [illegible] MM. [illegible] Brunet [illegible] d'Aurelle de Paladines [illegible] etc.

TOME [illegible] MM. le général [illegible] de la Taille [illegible] Morin [illegible] maréchal Bazaine [illegible] etc. [illegible] Commission, etc.

TOME [illegible] — [illegible] 1870-1871. — [illegible] du Gouvernement de la Défense nationale. — Suspension du tribunal de la Rochelle : rapport de M. de la Borderie, déposition.

ANNEXE AU TOME V. Deuxième déposition de M. [illegible] Événements [illegible] Ain Yagout. — [illegible] de MM. le général [illegible] et [illegible] — [illegible] Commission d'enquête (4 fr.).

RAPPORTS :

TOME PREMIER. M. *Chaper*, les procès-verbaux des séances du Gouvernement de la Défense nationale. — M. *de Sugny*, les événements de Lyon sous le Gouv. de la Défense nat. — M. *de Rességuier*, les actes du Gouv. de la Défense nat. dans le sud ouest de la France.

TOME II. M. *Saint Marc Girardin*, la chute du second Empire. — M. *de Sugny*, les événements de Marseille sous le Gouv. de la Défense nat.

TOME III. M. *le comte Daru*, la politique du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME IV. M. *Chaper*, de la Défense nat. au point de vue militaire à Paris.

TOME V. *Boreau-Lajanadie*, l'emprunt Morgan. — M. *de la Borderie*, le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. — M. *de la Sicotière*, l'affaire de Dreux.

TOME VI. M. *de Rainneville*, les actes diplomatiques du Gouv. de la Défense nat. — M. *A. Lallié*, les postes et les télégraphes pendant la guerre. — M. *Delsol*, la ligue du Sud Ouest. — M. *Perrot*, la défense en province. (1re *partie*.)

TOME VII. M. *Perrot*, les actes militaires du Gouv. la Défense nat. en province (2e *partie* : Expédition de l'Est).

TOME VIII. M. *de la Sicotière*, sur l'Algérie.

TOME IX. Algérie, dépositions des témoins. Table générale et analytique des dépositions des témoins avec renvoi aux rapports (10 fr.).

TOME X. M. *Boreau-Lajanadie*, le Gouvernement de la Défense nationale à Tours et à Bordeaux. (5 fr.).

PIÈCES JUSTIFICATIVES :

TOME PREMIER. Dépêches télégraphiques officielles, première partie.

TOME DEUXIÈME. Dépêches télégraphiques officielles, deuxième partie. — Pièces justificatives du rapport de M. Saint-Marc Girardin.

PRIX DE CHAQUE VOLUME. . . . . 15 fr.

PRIX DE L'ENQUÊTE COMPLÈTE EN 13 VOLUMES. . . . [illegible] fr.

Rapports sur les actes du Gouvernement de la Défense nationale, se vendant séparément :

DE RESSÉGUIER. — Toulouse sous le Gouv. de la Défense nat. In-4. 2 r. 50
SAINT-MARC GIRARDIN. — La chute du second Empire. In-4. 4 fr. 50
Pièces justificatives du rapport de M. Saint-Marc Girardin. 1 vol. in-4. 5 fr.
DE SUGNY. — Marseille sous le Gouv. de la Défense nat. In-4. 10 r.
DE SUGNY. — Lyon sous le Gouv. de la Défense nat. In-4. 7 r.
DARU. — La politique du Gouv. de la Défense nat. à Paris. In-4. 15 fr
CHAPER. — Le Gouv. de la Défense à Paris au point de vue militaire. In-4. 15 fr.
CHAPER. — Procès-verbaux des séances du Gouv. de la Défense nat. In-4. 5 fr.
BOREAU-LAJANADIE. — L'emprunt Morgan. In-4. 4 fr. 50
DE LA BORDERIE. — Le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. In-4. 10 fr.
DE LA SICOTIÈRE. — L'affaire de Dreux. In-4. 2 fr. 50
DE LA SICOTIÈRE. — L'Algérie sous le Gouvernement de la Défense nationale. 2 vol. in-4. 22 fr.
DE RAINNEVILLE. Actes diplomatiques du Gouv. de la Défense nat. 1 vol. in-4. 3 fr. 50
LALLIÉ. Les postes et les télégraphes pendant la guerre. 1 vol. in-4. 1 fr. 50
DELSOL. La ligue du Sud-Ouest. 1 vol. in-4. 1 fr. 50
PERROT. Le Gouvernement de la Défense nationale en province. 2 vol. in-4. 25 fr.
BOREAU-LAJANADIE. Rapport sur les actes de la Délégation du Gouvernement de la Défense nationale à Tours et à Bordeaux. 1 vol. in 4. 5 fr.
Dépêches télégraphiques officielles. 2 vol. in-4. 25 fr.
Procès-verbaux de la Commune. 1 vol. in-4. 5 fr.
Table générale et analytique des dépositions des témoins. 1 vol. in-4. 3 fr. 50

LES ACTES DU GOUVERNEMENT

DE LA

DÉFENSE NATIONALE

(DU 4 SEPTEMBRE 1870 AU 8 FÉVRIER 1871)

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE FAITE PAR L'ASSEMBLÉE NATIONALE
RAPPORTS DE LA COMMISSION ET DES SOUS-COMMISSIONS
TÉLÉGRAMMES
PIÈCES DIVERSES — DÉPOSITIONS DES TÉMOINS — PIÈCES JUSTIFICATIVES
TABLES ANALYTIQUE, GÉNÉRALE ET NOMINATIVE

7 forts volumes in-4. — Chaque volume séparément 16 fr.

L'ouvrage complet en 7 volumes : 112 fr.

Cette édition populaire réunit, en sept volumes avec une Table analytique par volume, tous les documents distribués à l'Assemblée nationale. — Une Table générale et nominative termine le 7e volume.

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE

SUR

L'INSURRECTION DU 18 MARS

1° RAPPORTS. — 2° DÉPOSITIONS de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, général Trochu, J. Favre, Ernest Picard, J. Ferry, général Le Flô, général Vinoy, colonel Lambert, colonel Gaillard, général Appert, Floquet, général Cremer, amiral Saisset, Schœlcher, amiral Pothuau, colonel Langlois, etc. — 3° PIÈCES JUSTIFICATIVES

1 vol. grand in-4°. — Prix : 16 fr.

COLLECTION ELZÉVIRIENNE

MAZZINI. **Lettres de Joseph Mazzini** à Daniel Stern (1864-1872), avec une lèttre autographiée. 3 fr. 50

MAX MULLER. **Amour allemand**, traduit de l'allemand. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

CORLIEU (le Dr). **La mort des rois de France** depuis François Ier jusqu'à la Révolution française, études médicales et historiques. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

CLAMAGERAN. **L'Algérie**, impressions de voyage. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

STUART MILL (J.). **La République de 1848**, traduit de l'anglais, avec préface par M. SADI CARNOT, 1 vol. in-18 (1875). 3 fr. 50

RIBERT (Léonce). **Esprit de la Constitution** du 25 février 1875. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

NOEL (E.). **Mémoires d'un imbécile**, précédé d'une préface de *M. Littré*. 1 vol. in-18, 3e édition (1879). 3 fr. 50

PELLETAN (Eug.). **Jarousseau, le Pasteur du désert**. 1 vol. in-18 (1877). Couronné par l'Académie française. 6e édit. 3 fr. 50

PELLETAN (Eug.). **Élisée, voyage d'un homme à la recherche de lui-même**, 1 vol. in-18 (1877). 3 fr. 50

PELLETAN (Eug.). **Un roi philosophe, Frédéric le Grand**. 1 vol. in-18 (1878). 3 fr. 50

E. DUVERGIER DE HAURANNE (Mme). **Histoire populaire de la Révolution française**. 1 v. in-18, 2e édit., 1879. 3 fr. 50

ŒUVRES
DE
EDGAR QUINET

Chaque volume se vend séparément.

Édition in-8 .... 6 fr. | Édition in-18..... 3 fr. 50

I. — Génie des Religions. — De l'origine des Dieux. (Nouvelle édition.)

I. — Les Jésuites. — L'Ultramontanisme. — Introduction à la Philosophie de l'histoire de l'Humanité. (Nouvelle édition, avec préface inédite).

II. — Le Christianisme et la Révolution française. Examen de la Vie de Jésus-Christ, par STRAUSS. — Philosophie de l'histoire de France. (Nouvelle édition.)

IV. — Les Révolutions d'Italie. (Nouvelle édition.)

V. — Marnix de Sainte-Aldegonde. — La Grèce moderne et ses rapports avec l'Antiquité.

VI. — Les Romains. — Allemagne e Italie. — Mélanges.

VII. — Ashavérus. — Les Tablettes du Juif errant.

VIII. — Prométhée. — Les Esclaves.

IX. — Mes Vacances en Espagne. — De l'Histoire de la Poésie. — Des Epopées françaises inédites du XIIe siècle.

X. — Histoire de mes idées.

XI. — L'Enseignement du peuple. — La Révolution religieuse au XIXe siècle. — La Croisade romaine. — Le Panthéon. — Plébiscite et Concile. — Aux Paysans.

Viennent de paraître :

Correspondance. Lettres à sa mère. 2 vol. in-18.... 7 »

Les mêmes. 2 vol. in-8........................ 12 »

La révolution. 3 vol. in-18..................... 10 50

La campagne de 1815. 1 vol. in-18.............. 3 50

Merlin, l'enchanteur, avec une préface nouvelle, notes et commentaires, 1 vol. in-18. 7 fr.

Ou 2 vol. in-8. 12 fr.

BIBLIOTHÈQUE UTILE

LISTE DES OUVRAGES PAR ORDRE D'APPARITION

Le vol. de 190 p., br. 60 cent. — Cart. à l'ang. 1 fr.

I. — **Morand**. Introd. à l'étude des Sciences physiques. 2e édit.
II. — **Cruveilher**. Hygiène générale. 6e édition.
III. — **Corbon**. De l'enseignement professionnel. 2e édition.
IV. — **L. Pichat**. L'Art et les Artistes en France. 3e édition.
V. — **Buchez**. Les Mérovingiens. 3e édition.
VI. — **Buchez**. Les Carlovingiens.
VII. — **F. Morin**. La France au moyen âge. 3e édition.
VIII. — **Bastide**. Luttes religieuses des premiers siècles. 4e éd.
IX. — **Bastide**. Les guerres de la Réforme. 4e édition.
X. — **E. Pelletan**. Décadence de la monarchie française. 4e éd.
XI. — **L. Brothier**. Histoire de la Terre. 4e édition.
XII. — **Sanson**. Principaux faits de la Chimie. 3e édition.
XIII. — **Turck**. Médecine populaire. 4e édition.
XIV. — **Morin**. Résumé populaire du Code civil. 2e édition.
XV. — **Zaborowski**. L'homme préhistorique. 2e édit.
XVI. — **A. Ott**. L'Inde et la Chine. 2e édit.
XVII. — **Catalan**. Notions d'Astronomie. 2e édition.
XVIII. — **Cristal**. Les Délassements du Travail.
XIX. — **Victor Meunier**. Philosophie zoologique.
XX. — **G. Jourdan**. La justice criminelle en France. 2e édition.
XXI. — **Ch. Rolland**. Histoire de la maison d'Autriche. 3e édit.
XXII. — **E. Despois**. Révolution d'Angleterre. 2e édition.
XXIII. — **B. Gastineau**. Génie de la Science et de l'Industrie.
XXIV. — **H. Leneveux**. Le Budget du foyer. Economie domestique.
XXV. — **L. Combes**. La Grèce ancienne.
XXVI. — **Fréd. Lock**. Histoire de la Restauration. 2e édition.
XXVII. — **L. Brothier**. Histoire populaire de la philosophie. 2e édition.
XXVIII. — **E. Margollé**. Les phénomènes de la Mer. 4e édition.
XXIX. — **L. Collas**. Histoire de l'Empire ottoman. 2e édition.
XXX. — **Zurcher**. Les Phénomènes de l'atmosphère. 3e édition.
XXXI. — **E. Raymond**. L'Espagne et le Portugal. 2e édition.
XXXII. — **Eugène Noël**. Voltaire et Rousseau. 2e édition
XXXIII. — **A. Ott**. L'Asie occidentale et l'Egypte.
XXXIV. — **Ch. Richard**. Origine et fin des Mondes. 3e édition.
XXXV. — **Enfantin**. La Vie éternelle. 2e édition.
XXXVI. — **L. Brothier**. Causeries sur la mécanique. 2e édition.
XXXVII. — **Alfred Doneaud**. Histoire de la Marine française.
XXXVIII. — **Fréd. Lock**. Jeanne d'Arc.
XXXIX. — **Carnot**. Révolution française. — Période de création (1789-1792).
XL. — **Carnot**. Révolution française. — Période de conservation (1792-1804).
XLI. — **Zurcher** et **Margollé**. Télescope et Microscope.
XLII. — **Blerzy**. Torrents, Fleuves et Canaux de la France.
XLIII. — **P. Secchi, Wolf, Briot et Delaunay**. Le Soleil, les Étoiles et les Comètes.
XLIV. — **Stanley Jevons**. L'Économie politique, trad. de l'anglais par H. Gravoz.
XLV. — **Em. Ferrière**. Le Darwinisme. 2e édit.
XLVI. — **H. Leneveux**. Paris municipal.
XLVII. — **Bolllot**. Les Entretiens de Fontenelle sur la pluralité des mondes, mis au courant de la science.

XLVIII. — **E. Zevort.** Histoire de Louis-Philippe.
XLIX. — **Geikie.** Géographie physique, traduit de l'anglais par H. Gravez.
L. — **Zaborowski.** L'origine du langage.
LI. — **H. Blerzy.** Les colonies anglaises.
LII. — **Albert Lévy.** Histoire de l'air.

BIBLIOTHÈQUE UTILE

LISTE DES OUVRAGES PAR ORDRE DE MATIÈRES

Le vol. de 190 p., br. 60 cent. — Cart. à l'angl. 1 fr.

I. — HISTOIRE DE FRANCE

Buchez. Les Mérovingiens.
Buchez. Les Carlovingiens.
J. Bastide. Luttes religieuses des premiers siècles.
J. Bastide. Les Guerres de la Réforme.
F. Morin. La France au Moyen Age.
Fréd. Lock. Jeanne d'Arc.
Eug. Pelletan. Décadence de la monarchie française.
Carnot. La Révolution française, 2 vol.
Fréd. Lock. Histoire de la Restauration.
Alf. Doneaud. Histoire de la marine française.
E. Zevort. Histoire de Louis-Philippe.

II. — PAYS ÉTRANGERS.

E. Raymond. L'Espagne et le Portugal.
L. Collas. Histoire de l'empire ottoman.
L. Combes. La Grèce ancienne.
A. Ott. L'Asie occidentale et l'Egypte.
A. Ott. L'Inde et la Chine.
Ch. Rolland. Histoire de la maison d'Autriche.
Eug. Despois. Les Révolutions d'Angleterre.
H. Blerzy. Les colonies anglaises.

III. — PHILOSOPHIE.

Enfantin. La Vie éternelle.
Eug. Noël. Voltaire et Rousseau.
Léon Brothier. Histoire populaire de la philosophie.
Victor Meunier La Philosophie zoologique.
Zaborowski. L'origine du langage.

IV. — DROIT.

Morin. La Loi civile en France.
G. Jourdan. La Justice criminelle en France.

V. — SCIENCES.

Benj. Gastineau. Le Génie de la science.
Zurcher et Margollé. Télescope et Microscope.
Zurcher. Les Phénomènes de l'atmosphère.
Morand. Introduction à l'étude des sciences physiques.
Cruveilhier. Hygiène générale.
Brothier. Causeries sur la mécanique.
Brothier. Histoire de la terre.
Samson. Principaux faits de la chimie.
Turck. Médecine populaire.

Catalan. Notions d'astronomie (avec figures).
E. Margollé. Les Phénomènes de la mer.
Ch. Richard. Origines et Fins des mondes.
Zaborowski. L'Homme préhistorique.
H. Blerzy. Torrents, Fleuves et Canaux de la France.
P. Secchi, Wolf et Briot. Le Soleil, les Étoiles et les Comètes (avec figures).
Em. Ferrière. Le Darwinisme.
Boillot. Les Entretiens de Fontenelle sur la pluralité des mondes.
Geikie. Géographie physique (avec figures).
Albert Lévy. Histoire de l'air (avec figures).

VI. — ENSEIGNEMENT. — ÉCONOMIE POLITIQUE. — ARTS.

Corbon. L'Enseignement professionnel.
Cristal. Les Délassements du travail.
H. Leneveux. Le Budget du foyer.
H. Leneveux. Paris Municipal.
Laurent Pichat. L'Art et les Artistes en France.
Stanley Jevons. L'Économie politique.

BIBLIOTHÈQUE POPULAIRE

BARNI (Jules). **Napoléon I**er. 1 vol. in-18. 1 fr.
BARNI (Jules). **Manuel républicain**. 1 vol. in-18. 1 fr.
MARAIS (Aug.). **Garibaldi et l'armée des Vosges**. 1 vol. in-18. 1 fr. 50
FRIBOURG (E.). **Le paupérisme parisien**, ses progrès depuis vingt-cinq ans. 1 fr. 25
LOURDAU (E.). **Le sénat et la magistrature** dans la démocratie. 1 vol. in-18 (1878). 3 fr. 50

ÉTUDES CONTEMPORAINES

BOUILLET (Ad.). **Les bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V**. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
BOUILLET (Ad.). **Les bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V**. Types nouveaux et inédits. 1 vol. in-18. 2 fr. 50
BOUILLET (Ad.). **Les Bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V**. L'arrière-ban de l'ordre moral. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
VALMONT (V.). **L'espion prussien, roman anglais, traduit par** M. J. DUBRISAY. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
BOURLOTON (Edg.) et ROBERT (Edmond). **La Commune et ses idées à travers l'histoire**. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
CHASSERIAU (Jean). **Du principe autoritaire et du principe rationnel**. 1873. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
NAQUET (Alfred). **La République radicale**. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
ROBERT (Edmond). **Les domestiques** 1 vol. in-18 (1875). 2 fr. 50
LOURDAU. **Le sénat et la magistrature dans la démocratie française**. 1 vol. in-18 (1879). 3 fr. 50

REVUE **Politique et Littéraire** (Revue des cours littéraires, 2e série.)	REVUE **Scientifique** (Revue des cours scientifiques, 2e série.)

Directeurs : MM. Eug. YUNG et Ém. ALGLAVE

La septième année de la **Revue des Cours littéraires** et de la **Revue des Cours scientifiques**, terminée à la fin de juin 1871, clôt la première série de cette publication.

La deuxième série a commencé le 1er juillet 1871, et depuis cette époque chacune des années de la collection commence à cette date. Des modifications importantes ont été introduites dans ces deux publications.

REVUE POLITIQUE ET LITTÉRAIRE

La *Revue politique* continue à donner une place aussi large à la littérature, à l'histoire, à la philosophie, etc., mais elle a agrandi son cadre, afin de pouvoir aborder en même temps la politique et les questions sociales. En conséquence, elle a augmenté de moitié le nombre des colonnes de chaque numéro (48 colonnes au lieu de 32).

Chacun des numéros, paraissant le samedi, contient régulièrement :

Une *Semaine politique* et une *Causerie politique*, où sont appréciés, à un point de vue plus général que ne peuvent le faire les journaux quotidiens, les faits qui se produisent dans la politique intérieure de la France, discussions de l'Assemblée, etc.

Une *Causerie littéraire* où sont annoncés, analysés et jugés les ouvrages récemment parus : livres, brochures, pièces de théâtre importantes, etc.

Tous les mois la *Revue politique* publie un *Bulletin géographique* qui expose les découvertes les plus récentes et apprécie les ouvrages géographiques nouveaux de la France et de l'étranger. Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance extrême qu'a prise la géographie depuis que les Allemands en ont fait un instrument de conquête et de domination.

De temps en temps une *Revue diplomatique* explique, au point de vue français, les événements importants survenus dans les autres pays.

On accusait avec raison les Français de ne pas observer avec assez d'attention ce qui se passe à l'étranger. La *Revue* remédie à ce défaut. Elle analyse et traduit les livres, articles, discours ou conférences qui ont pour auteurs les hommes les plus éminents des divers pays.

Comme au temps où ce recueil s'appelait *la Revue des cours littéraires* (1864-1870), il continue à publier les principales leçons du Collége de France, de la Sorbonne et des Facultés des départements.

Les ouvrages importants sont analysés, avec citations et extraits, dès le lendemain de leur apparition. En outre, la *Revue politique* publie des articles spéciaux sur toute question que recommandent à l'attention des lecteurs, soit un intérêt public, soit des recherches nouvelles.

Parmi les collaborateurs nous citerons :

Articles politiques. — MM. de Pressensé, Ch. Bigot, Anat. Dunoyer, Anatole Leroy-Beaulieu, Clamageran.

Diplomatie et pays étrangers. — MM. Van den Berg, Albert Sorel, Reynald, Léo Quesnel, Louis Leger, Jezierski.

Philosophie. — MM. Janet, Caro, Ch. Lévêque, Véra, Th. Ribot, E. Boutroux, Nolen, Huxley.

Morale. — MM. Ad. Franck, Laboulaye, Legouvé, Bluntschli.

Philologie et archéologie. — MM. Max Müller, Eugène Benoist, L. Havet, E. Ritter, Maspéro, George Smith.

Littérature ancienne. — MM. Egger, Havet, George Perrot, Gaston Boissier, Geffroy.

Littérature française. — MM. Ch. Nisard, Lenient, Édouard Fournier, Bersier, Gidel, Jules Claretie, Paul Albert.

Littérature étrangère. — MM. Mézières, Büchner, P. Stapfer.

Histoire. — MM. Alf. Maury, Littré, Alf. Rambaud, G. Monod.

Géographie, *Economie politique.* — MM. Levasseur, Himly, Vidal-Lablache, Gaidoz, Debidour, Alglave.

Instruction publique. — Madame C. Coignet, MM. Buisson, Em. Beaussire.

Beaux-arts. — MM. Gebhart, Justi, Schnaase, Vischer, Ch. Bigot.

Critique littéraire. — MM. Maxime Gaucher, Paul Albert.

Notes et impressions. — MM. Clément Caraguel et Louis Ulbach.

Ainsi la *Revue politique* embrasse tous les sujets. Elle consacre à chacun une place proportionnée à son importance. Elle est, pour ainsi dire, une image vivante, animée et fidèle de tout le mouvement contemporain.

REVUE SCIENTIFIQUE

Mettre la science à la portée de tous les gens éclairés sans l'abaisser ni la fausser, et, pour cela, exposer les grandes découvertes et les grandes théories scientifiques par leurs auteurs mêmes ;

Suivre le mouvement des idées philosophiques dans le monde savant de tous les pays;

Tel est le double but que la *Revue scientifique* poursuit depuis dix ans avec un succès qui l'a placée au premier rang des publications scientifiques d'Europe et d'Amérique.

Pour réaliser ce programme, elle devait s'adresser d'abord aux Facultés françaises et aux Universités étrangères qui comptent dans leur sein presque tous les hommes de science éminents. Mais, depuis deux années déjà, elle a élargi son cadre afin d'y faire entrer de nouvelles matières.

En laissant toujours la première place à l'enseignement supérieur proprement dit, la *Revue scientifique* ne se restreint plus désormais aux leçons et aux conférences. Elle poursuit tous les développements de la science sur le terrain économique, industriel, militaire et politique.

Elle publie les principales leçons faites au Collége de France, au Muséum d'histoire naturelle de Paris, à la Sorbonne, à l'Institution royale de Londres, dans les Facultés de France, les universités d'Allemagne, d'Angleterre, d'Italie, de Suisse, d'Amérique, et les institutions libres de tous les pays.

Elle analyse les travaux des Sociétés savantes d'Europe et d'Amérique, des Académies des sciences de Paris, Vienne, Berlin, Munich, etc., des Sociétés royales de Londres et d'Édimbourg, des Sociétés d'anthropologie, de géographie, de chimie, de botanique, de géologie, d'astronomie, de médecine, etc.

Elle expose les travaux des grands congrès scientifiques, les Associations *française*, *britannique* et *américaine*, le Congrès des naturalistes allemands, la Société helvétique des sciences naturelles, les congrès internationaux d'anthropologie préhistorique, etc.

Enfin, elle publie des articles sur les grandes questions de philosophie naturelle, les rapports de la science avec la politique, l'industrie et l'économie sociale, l'organisation scientifique des divers pays, les sciences économiques et militaires, etc.

Parmi les collaborateurs nous citerons :

Astronomie, météorologie. — MM. Faye, Balfour Stewart, Janssen, Normann Lockyer, Vogel, Laussedat, Thomson, Rayet, Briot, A. Herschel, etc.

Physique. — MM. Helmholtz, Tyndall, Desains, Mascart, Carpenter, Gladstone, Fernet, Bertin.

Chimie. — MM. Wurtz, Berthelot, H. Sainte-Claire Deville, Pasteur, Grimaux, Jungfleisch, Odling, Dumas, Troost, Peligot, Cahours, Friedel, Frankland.

Géologie. — MM. Hébert, Bleicher, Fouqué, Gaudry, Ramsay, Sterry-Hunt, Contejean, Zittel, Wallace, Lory, Lyell, Daubrée.

Zoologie. — **MM. Agassiz, Darwin, Haeckel, Milne Edwards, Perrier, P. Bert, Van Beneden, Lacaze-Duthiers, Giard, A. Moreau, E. Blanchard.**

Anthropologie. — **MM. Broca, de Quatrefages, Darwin, de Mortillet, Virchow, Lubbock, K. Vogt.**

Botanique. — **MM. Baillon, Cornu, Faivre, Spring, Chatin, Van Tieghem, Duchartre.**

Physiologie, anatomie. — **MM. Chauveau, Charcot, Moleschott, Onimus, Ritter, Rosenthal, Wundt, Pouchet, Ch. Robin, Vulpian, Virchow, P. Bert, du Bois-Reymond, Helmholtz, Marey, Brücke.**

Médecine. — **MM. Chauffard, Chauveau, Cornil, Gubler, Le Fort, Verneuil, Broca, Liebreich, Lasègue, G. Sée, Bouley, Giraud-Teulon, Bouchardat, Lépine.**

Sciences militaires. — **MM. Laussedat, Le Fort, Abel, Jervois, Morin, Noble, Reed, Usquin, X***.**

Philosophie scientifique. — **MM. Alglave, Bagehot, Carpenter, Hartmann, Herbert Spencer, Lubbock, Tyndall, Gavarret, Ludwig, Ribot.**

Prix d'abonnement :

Une seule Revue séparément	Six mois.	Un an.	Les deux Revues ensemble	Six mois.	Un an.
Paris	12f	20f	Paris	20f	3
Départements.	15	25	Départements.	25	42
Étranger....	18	30	Étranger....	30	50

L'abonnement part du 1er juillet, du 1er octobre, du 1er janvier et du 1er avril de chaque année.

Chaque volume de la première série se vend : broché...... 15 fr.
relié........ 20 fr.
Chaque année de la 2e série, formant 2 vol., se vend : broché.. 20 fr.
relié.... 25 fr.

Port des volumes à la charge du destinataire.

Prix de la collection de la première série :

Prix de la collection complète de la *Revue des cours littéraires* ou de la *Revue des cours scientifiques* (1864-1870), 7 vol. in-4. 105 fr.

Prix de la collection complète des deux *Revues* prises en même temps, 14 vol. in-4.................................... 182 fr.

Prix de la collection complète des deux séries :

Revue des cours littéraires et *Revue politique et littéraire*, ou *Revue des cours scientifiques* et *Revue scientifique* (décembre 1863 — juillet 1879), 23 vol. in-4......................... 265 fr.

La *Revue des cours littéraires* et la *Revue politique et littéraire*, avec la *Revue des cours scientifiques* et la *Revue scientifique*, 46 volumes in-4 .... 470 fr.

REVUE PHILOSOPHIQUE

DE LA FRANCE ET DE L'ETRANGER

Paraissant tous les mois

Dirigée par TH. RIBOT
Agrégé de philosophie, Docteur ès lettres

(*4e année*, 1879.)

La REVUE PHILOSOPHIQUE paraît tous les mois, depuis le 1er janvier 1876, par livraisons de 6 à 7 feuilles grand in-8, et forme ainsi à la fin de chaque année deux forts volumes d'environ 680 pages chacun.

CHAQUE NUMÉRO DE LA *REVUE* CONTIENT :

1° Plusieurs articles de fond; 2° des analyses et comptes rendus des nouveaux ouvrages philosophiques français et étrangers; 3° un compte rendu aussi complet que possible des *publications périodiques* de l'étranger pour tout ce qui concerne la philosophie; 4° des notes, documents, observations, pouvant servir de matériaux ou donner lieu à des vues nouvelles.

Prix d'abonnement :

Un an, pour Paris	30 fr.
— pour les départements et l'étranger	33 fr.
La livraison	3 fr.

REVUE HISTORIQUE

Paraissant tous les deux mois

Dirigée par MM. GABRIEL MONOD et GUSTAVE FAGNIEZ

(*4e année*, 1879.)

La REVUE HISTORIQUE paraît tous les deux mois, depuis le 1er janvier 1876, par livraisons grand in-8 de 15 à 16 feuilles, de manière à former à la fin de l'année trois beaux volumes de 500 pages chacun.

CHAQUE LIVRAISON CONTIENT :

I. Plusieurs *articles de fond*, comprenant chacun, s'il est possible, un travail complet. II. Des *Mélanges et Variétés*, composés de documents inédits d'une étendue restreinte et de courtes notices sur des points d'histoire curieux ou mal connus. III. Un *Bulletin historique* de la France et de l'étranger, fournissant des renseignements aussi complets que possible sur tout ce qui touche aux études historiques. IV. Une *analyse des publications périodiques* de la France et de l'étranger, au point de vue des études historiques. V. Des *Comptes rendus critiques* des livres d'histoire nouveaux.

Prix d'abonnement :

Un an, pour Paris	30 fr.
— pour les départements et l'étranger	33 fr.
La livraison	6 fr.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

14862. — PARIS. — IMPRIMERIE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2

Charpentier, Chatin, Chauffard, Chomel, Civiale, Clémenceau, Cloquet, Corlieu, Cornil, Coste, D'Archiac, Davaine, Decaisne, Dechambre, Demarquay, Depaul, Demarres fils, Desprès, Duchartre, Duchesne de Boulogne, Duparcque, Duplay, Durand-Fardel, Mathias-Duval, Fauvel, Fort, Fonssagrives, Fournier, Galézowski, Gallard, Gariel, A. Gautier, Gavarret, Gendrin, Gerdy, Gosselin, Gubler, Guéneau de Mussy, Guérin, Guersant, Guyon, Guyot, Hoüel, Jaccoud, Joulin, Labbé, Lancereaux, Langlebert, Larrey, Lassègue, Lefort, Charles Legros, Liébreich, Legrand du Saule, Lisfranc, Lister, Littré, Longet, Lorain, Luys, Magitot, Malgaigne, Marey, Mauriac, Meyer, Morel-Lavallée, Nélaton, Nonat, Onimus, Orfila, Pajot, A. Paré, Parrot, Pasteur, C. Paul, Péan, Maurice Perrin, Piorry, M. Raynaud, Reliquet, Richard, Richet, Ricord, Robin, Charles et Henri Sainte-Claire Deville, Sappey, G. Sée, Marc Sée, de Seynes, Tardieu, Tarnier, Tillaux, Trelat père et fils, Trousseau, Velpeau, Verneuil, André Vesale, Wecker, Wurtz, etc., etc.

Prix de chaque Photographie : **1 fr. 50.**

MÉDECINS ÉTRANGERS

MM. Amos, de Arlt, Beale, Bernstein, Billrolh, Blaserna, Botkin, Britgh, Brucke, Buchner, Bunsen, Carpenter, Churchill, Clausius, Clifton, Donders, Dove, Dubois-Reymond, Ehnenberg, Faraday, Ferrier, Frankland, Frésénius, Fuchs, Garrod, Gegenbaur, De Graefe, Grove, Helmholtz, Hirsch, Holmgren, Humphrey, Jaeger, Kirkoff, Knapp, Liebig, Leukant, Leyden, Leydig, Lockyer, Mackensie, Magnus, Maudsley, Maxwell, Moleschott, Murchison, Niemeyer, Odling, Otto Beker, J. Pajet, Poggendorff, Remak, Schweigger, Snellen, Stiling, Thomson, Thompson, Tylor, Van Benéden, Virchow, Vogel, Carl Vogt, Warlomont, Wheastone, Wohler, Wundt, etc., etc.

Prix de chaque Photographie : **2 fr.**
